



TUGAS AKHIR - TM091585

**STUDI EKSPERIMEN
PROSES *INTERRUPTED QUENCHING* PADA *FRICTION WEDGE*
DENGAN VARIASI MEDIA *QUENCHING***

**AZHAR ASHARI
NRP. 2113 105 008**

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA.

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TM091585

**EKSPERIMENTAL STUDY OF
INTERRUPTED QUENCHING PROCESS ON FRICTION WEDGE
WITH QUENCHING MEDIA VARIANT**

AZHAR ASHARI
NRP. 2113 105 008

Academic Supervisor
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA.

Mechanical Engineering Department
Fakulty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

**STUDI EKSPERIMEN PROSES INTERRUPTED
QUENCHING PADA FRICTION WEDGE DENGAN
VARIASI MEDIA QUENCHING**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AZHAR ASHARI
NRP. 2113 105 008

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Dr. Ir. H.C Kis Agustin, DEA (Pembimbing)
(NIP. 196308151989032001)
2. Indra Sidharta, ST., M.Sc. (Penguji 1)
(NIP. 198006192006041004)
3. Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D. (Penguji II)
(NIP. 198005202005011002)
4. Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc. (Penguji III)
(NIP. 198202092012121001)

SURABAYA
Juli 2015

STUDI EKSPERIMEN PROSES *INTERRUPTED QUENCHING* PADA *FRICTION WEDGE* DENGAN VARIASI MEDIA *QUENCHING*

Nama Mahasiswa : Azhar Ashari
NRP : 2113 105 008
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

Abstrak

Friction wedge merupakan peredam kejut (damper) pada bogie kereta api yang berfungsi untuk meredam hentakan yang timbul saat kereta berjalan. Friction wedge bekerja dengan cara bergesekan dengan side frame yang telah diberi plat mangan. Bahan dasar friction wedge adalah baja AISI 1340 yang dibentuk melalui proses pengecoran. Peningkatan kekerasan dan ketahanan aus dilakukan agar life-cycle dari friction wedge panjang. Peningkatan kekekerasan dapat dilakukan melalui proses quenching, salah satu modifikasi dari proses quenching adalah proses interrupted quenching.

Proses perlakuan panas interrupted quenching dilakukan pada benda uji friction wedge yang telah dibentuk sesuai standar pengujian, dengan pemanasan dalam dapur sampai mencapai temperatur austenitasi 830 °C dan waktu tahan 2 jam. Proses dilanjutkan dengan penahanan benda uji di media udara selama 20 detik. Setelah penahanan di udara, benda uji diquenching pada media quenching masing-masing air, oli, dan polimer. Pengujian yang dilakukan setelah proses interrupted quenching antara lain, uji metallography, uji kekerasan, uji impak, dan uji keausan.

Pada penelitian ini didapatkan bahwa media quenching air adalah media quenching yang optimum pada proses interrupted quenching, dengan peningkatan kekerasan sebesar 195% dari benda uji as cast, peningkatan impact strength sebesar 3% dari benda uji as cast, dan struktur mikro yang dominan adalah

martensite. Pengujian keausan yang digunakan pada penelitian ini perlu dilakukan evaluasi.

Kata kunci: friction wedge, bogie, interrupted quenching, media quenching

EKSPERIMENTAL STUDY OF INTERRUPTED QUENCHING PROCESS ON FRICTION WEDGE WITH QUENCHING MEDIA VARIANT

Student's Name : Azhar Ashari
Student's Number : 2113 105 008
Department : Mechanical Engineering
Lecturer Supervisor : Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

Abstract

Friction wedge is shock absorber (damper) on train's bogie that has function to absorb shock or impact when train moves. Friction wedge works by rubbing with side frame that coated with mangan's plate. Base material of friction wedge is AISI 1340 steel that made from casting. Hardness increment and wear resistance is used to increase life-cycle of friction wedge. Quenching process is used to increase hardness, one of the modified quenching process is interrupted quenching.

Heat treatment of interrupted quenching is applied to friction wedge that has made as test standards, by heating in furnance until austenitized temperature 830 °C and holding time 2 hours. After holding time, specimen is put on free air for 20 seconds. After that, specimen is quenched on quenching media variant respectively water, oil, and polymer. Tests that used on this study are, impact test, hardness test, metallography test, and wear resistance test.

On this study, it is found that quenching water is optimum quenching media for interrupted quenching process, with hardness increement 195% from as cast, wear resistance increement 25% from as cast, impact strength increement 3% from as cast, and dominant micro structure is martensite. Wear resistance test that used on this study need to be evaluated.

Keywords : friction wedge, bogie, interrupted quenching, quenching media

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah...

Segala puji hanya milik Allah, *Rabb* semesta alam, pencipta langit dan bumi dan segala yang ada diantaranya, yang atas izin, rahmat dan kehendakNya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimen Proses *Interrupted Quenching* Pada *Friction Wedge* Dengan Variasi *Media Quenching*”.

Laporan Tugas Akhir ini sejatinya disusun sebagai salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada :

1. Orang Tuaku yang senantiasa mendo’akan dalam perjuangan menempuh pendidikan di perantauan.
2. Ibu Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA selaku pembimbing Tugas Akhir yang banyak memberikan bimbingan dan saran.
3. Bapak Indra Sidharta, ST., M.Sc., Bapak Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc., serta Bapak Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D. yang dengan rasa percayanya telah memberikan kelulusan dan gelar Sarjana Teknik (ST) kepada penulis..
4. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D., selaku Kepala Jurusan yang menjabat selama penulis menempuh pendidikan S1 di Teknik Mesin.
5. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT., selaku Dosen Wali yang begitu rajin memantau perkembangan studi penulis.
6. Segenap Dosen / Tenaga Pengajar yang telah berbagi ilmu selama penulis menempuh pendidikan S1 di ITS.
7. Segenap Karyawan dan Staf Administrasi ITS yang telah bersedia melancarkan setiap keperluan penulis.

8. Bapak Agus selaku karyawan lab metalurgi yang telah memberikan banyak saran dan bantuan saat eksperimen di lapangan.
9. Bapak Beny Andika, ST. selaku karyawan PT Barata yang telah memberikan saran dan material dasar.
10. Neva Prastiwi selaku rekan satu bimbingan yang telah banyak membantu.
11. *My lovely* yang selalu sabar dan selalu memberikan dukungan moral.
12. Farid dan ganjar yang telah memberikan informasi tentang *bogie* kereta api.
13. Semua pihak yang telah terlibat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak mungkin disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan adanya penyempurnaan lebih lanjut oleh pihak yang berkepentingan agar Tugas Akhir ini bisa lebih dikembangkan.

Surabaya, Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Hasil Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Bogie</i>	6
2.1.1 Tipe <i>bogie</i>	7
2.1.2 Suspensi pada <i>bogie</i>	8
2.1.3 <i>Friction wedge</i>	9
2.2 Baja	10
2.2.1 Baja Karbon	11
2.2.2 Baja Paduan	11
2.2.3 Baja AISI 1340	12
2.3 Fasa dan Struktur Mikro	12
2.4 Proses Perlakuan Panas	14
2.4.1 Proses <i>Quenching</i>	15
2.4.2 <i>Interrupted Quenching</i>	17
2.4.3 Media <i>Quenching</i>	20
2.5 Pengujian Kekerasan	22
2.6 Pengujian Impak	23
2.7 Pengujian Keausan	24
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	27

3.2 Material	28
3.3 Proses Perlakuan Panas	30
3.4 Media <i>Quenching</i>	31
3.4.1 Air	31
3.4.2 Oli	31
3.4.3 Polimer	32
3.5 Peralatan yang Digunakan	32
3.5.1 Dapur Pemanas	33
3.5.2 Peralatan Potong	33
3.5.3 Peralatan Ukur	34
3.6 Pengujian	34
3.6.1 Pengujian Impak	34
3.6.2 Pengujian Kekerasan	35
3.6.3 Observasi Struktur mikro	37
3.6.4 Pengujian Keausan	38
BAB IV DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN	
4.1 Pengujian Impak	41
4.1.1 Data <i>Impact Strength</i> Hasil Pengujian Impak	42
4.1.2 Pembahasan Data <i>Impact Strength</i> Hasil Pengujian Impak	43
4.1.3 Pola Patahan Hasil Pengujian Impak	44
4.2 Pengujian Kekerasan	46
4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan pada Permukaan Benda Uji	47
4.2.2 Pembahasan Data Hasil Pengujian Kekerasan pada Permukaan Benda Uji	48
4.2.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan pada Penampang Benda Uji	50
4.2.4 Pembahasan Data Hasil Pengujian Kekerasan pada Penampang Benda Uji	52
4.3 Pengujian Keausan	53
4.3.1 Data Laju Keausan Pada Benda Uji	54
4.3.2 Pembahasan data laju keausan pada Benda Uji	55

4.3.3 Foto Permukaan Benda Uji Setelah Pengujian Keausan	56
4.4 Observasi struktur mikro	58
4.5 Hubungan Media <i>Quenching</i> Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik	61
4.6 Media <i>Quenching</i> Optimum	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi kimia baja AISI 1340	12
Tabel 2.2	Temperatur austenisasi baja AISI 1340	16
Tabel 3.1	Komposisi kimia benda uji	29
Tabel 3.2	Spesifikasi oli mesran	32
Tabel 4.1	Hasil eksperimen pengujian impak pada benda uji	42
Tabel 4.2	Nilai <i>Impact strength</i> benda uji	42
Tabel 4.3	Pengaruh media <i>quenching</i> terhadap pola patahan	45
Tabel 4.4	Hasil eksperimen pengujian kekerasan pada permukaan benda uji	48
Tabel 4.5	Hasil eksperimen pengujian kekerasan pada penampang benda uji	51
Tabel 4.6	Hasil eksperimen pengujian keausan	54
Tabel 4.7	Perubahan volume dan laju keausan benda uji	55
Tabel 4.8	Foto permukaan benda uji setelah pengujian keausan	57
Tabel 4.9	Observasi struktur mikro pada benda uji <i>as cast</i>	59
Tabel 4.10	Observasi struktur mikro pada benda uji media <i>quenching</i> air	59
Tabel 4.11	Observasi struktur mikro pada benda uji media <i>quenching</i> oli	60
Tabel 4.12	Observasi struktur mikro pada benda uji media <i>quenching</i> polimer	60
Tabel 4.12	Peringkat media <i>quenching</i> terhadap sifat mekanik	63

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Bogie</i>	1
Gambar 1.2	<i>Friction wedge</i> (atas) dan <i>side frame</i> (bawah)	1
Gambar 2.1	Kereta gandar 2 (kiri) dan kereta dengan <i>bogie</i> (kanan)	5
Gambar 2.2	Kereta saat menikung, kereta gandar 2 (atas) Dan kereta dengan <i>bogie</i> (bawah)	6
Gambar 2.3	Komponen penyusun <i>bogie</i>	7
Gambar 2.4	Suspensi sekunder (kiri) dan suspensi primer (kanan)	9
Gambar 2.5	Gaya-gaya yang bekerja pada <i>friction wedge</i>	9
Gambar 2.6	Hasil pengecoran <i>friction wedge</i>	10
Gambar 2.7	Diagram transformasi Fe-Fe ₃ C	13
Gambar 2.8	Bentuk geometri susunan kristal fasa	14
Gambar 2.9	Diagram IT baja AISI 1340	17
Gambar 2.10	Skema pengintian dan pertumbuhan saat transformasi <i>isothermal</i>	17
Gambar 2.11	Diagram CCT baja SS 2541	19
Gambar 2.12	Profil kekerasan pada benda uji	19
Gambar 2.13	Tiga tingkatan kurva pendinginan	20
Gambar 2.14	Mekanisme indentasi <i>vickers</i>	23
Gambar 2.15	Metode <i>Izod</i> (kiri) dan metode <i>Charpy</i> (kanan)	23
Gambar 2.16	Skema pengujian impak	24
Gambar 2.17	Mekanisme keausan adesif	25
Gambar 2.18	Mekanisme keausan abrasif	25
Gambar 2.19	Mekanisme keausan lelah	26
Gambar 2.20	Mekanisme keausan korosif	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 3.2	Sample benda uji <i>fritcion wedge</i>	28
Gambar 3.3	Dimensi <i>friction wedge</i> yang telah dipotong	29
Gambar 3.4	Skema proses perlakuan panas <i>interrupted Quenching</i>	30

Gambar 3.5	(a) <i>Friction wedge</i> dipotong menjadi 2; (b) Benda uji standar pengujian impact; (c) Benda uji standar pengujian keausan	31
Gambar 3.6	Media <i>quenching aquades</i>	31
Gambar 3.7	<i>Polyvinyl alcohol</i>	32
Gambar 3.8	Dapur pemanas	33
Gambar 3.9	<i>Cutting wheel</i>	33
Gambar 3.10	Timbangan digital	34
Gambar 3.11	Dimensi standar benda uji impact	34
Gambar 3.12	Alat uji impact	35
Gambar 3.13	Lokasi pengujian kekerasan pada benda uji	36
Gambar 3.14	Alat uji kekerasan <i>vickers</i> tipe wolpert	37
Gambar 3.15	Lokasi observasi struktur mikro	37
Gambar 3.16	Mesin grinding	38
Gambar 3.17	Dimensi standar benda uji keausan	38
Gambar 3.18	(a) Plat mangan; (b) Mesin tribometer tipe <i>pin on disk</i>	39
Gambar 4.1	Benda uji standar pengujian impact a) Sebelum pengujian; b) Setelah pengujian	41
Gambar 4.2	Grafik pengaruh media <i>quenching</i> terhadap <i>impact strength</i>	43
Gambar 4.3	Sketsa lokasi pengujian kekerasan a) Pada permukaan benda uji; b) Pada penampang A-A benda uji	47
Gambar 4.4	Grafik pengaruh media <i>quenching</i> terhadap nilai kekerasan pada permukaan benda uji	49
Gambar 4.5	Grafik pengaruh jarak dari permukaan <i>quenching</i> terhadap nilai kekerasan pada penampang benda uji	52
Gambar 4.6	Benda uji standar pengujian impact a) Sketsa dimensi standar; b) Setelah proses <i>machining</i>	53
Gambar 4.7	Grafik pengaruh media <i>quenching</i> terhadap laju keausan benda uji	55

Gambar 4.8	Sketsa lokasi observasi struktur mikro	
	a) Pada permukaan benda uji;	
	b) Pada penampang A-A benda uji	58
Gambar 4.9	Diagram IT baja AISI 1340 dengan kurva laju pendinginan`	61

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

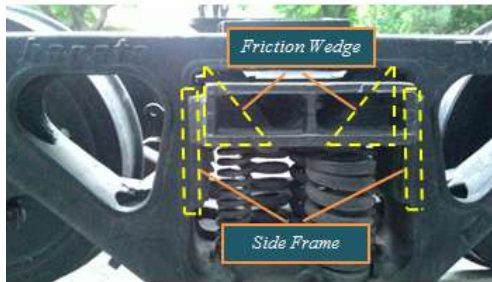
1.1 Latar Belakang Masalah

Penggunaan logam terutama baja masih sangat banyak dipergunakan untuk berbagai macam keperluan, misalnya sebagai bahan untuk konstruksi komponen kereta api. Komponen kereta api terdiri dari beberapa bagian yaitu, lokomotif, gerbong, *bogie*, pembangkit dan rel. *Bogie* (gambar 1.1) adalah sebuah konstruksi komponen gerak yang berfungsi untuk menopang badan gerbong atau lokomotif kereta api.



Gambar 1.1 *Bogie*

Bogie terdiri dari beberapa komponen penyusun, antara lain, *boolster*, pegas, *friction wedge*, *side frame*, komponen rem, roda, dan *bearing*. *Friction wedge* yang bahan utamanya AISI 1340, merupakan sebuah *damper* yang berfungsi sebagai peredam kejutan saat *bogie* melewati rel kereta api. Saat bekerja sebagai *damper*, *friction wedge* akan bergesekan dengan *side frame* (Gambar 1.2). Sifat mekanik yang harus dimiliki *friction wedge* adalah keras dan tahan aus.



Gambar 1.2 *Friction wedge* (atas) dan *side frame* (bawah)

Untuk meningkatkan sifat mekanik *friction wedge*, maka dilakukan proses perlakuan panas. Proses perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus baja adalah proses *hardening* atau *quenching*. Proses *quenching* juga bervariasi, salah satunya adalah proses *interrupted quenching*. Penggunaan perlakuan panas ini dapat menghasilkan kekerasan dan *hardenability* baja yang lebih baik dari pada proses konvensional *quenching*.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini akan mempelajari pengaruh variasi media *quenching* pada *friction wedge* AISI 1340 yang diberi perlakuan panas *interrupted quenching*.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dibahas permasalahan yang meliputi:

1. Bagaimana pengaruh variasi media *quenching* terhadap sifat mekanik (kekerasan, ketahanan aus, ketangguhan impak) dan struktur mikro *friction wedge* pada proses *interrupted quenching*.
2. Apakah media *quenching* yang optimum untuk proses *interrupted quenching* pada *friction wedge*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Komposisi material dianggap homogen.
2. Hasil proses pengecoran dianggap tidak terdapat cacat.
3. Pemanasan pada saat proses perlakuan panas dianggap sempurna dan merata di seluruh benda uji.
4. Kondisi peralatan yang digunakan saat pengujian dan pengambilan data telah terkalibrasi.

1.4 Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi media *quenching* terhadap sifat mekanik (kekerasan, ketahanan aus, ketangguhan impak) dan struktur mikro *Friction wedge* pada proses *interrupted quenching*
2. Mengetahui media *quenching* yang optimum untuk proses *interrupted quenching* pada *Friction wedge*.

1.5 Manfaat Hasil Penelitian

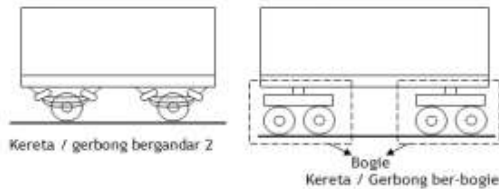
Manfaat dari penelitian ini adalah mengembangkan teori dan aplikasi variasi media *quenching* pada proses *interrupted quenching* yang diaplikasikan pada industri

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

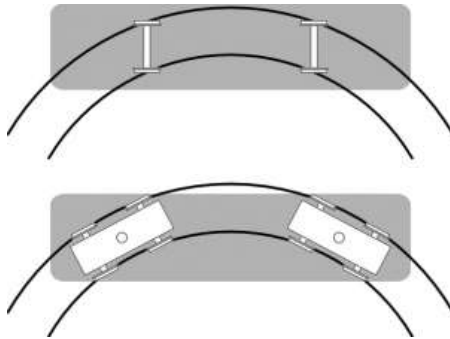
TINJAUAN PUSTAKA

Kereta api umumnya memiliki 2 macam konstruksi roda untuk berjalan di atas rel yaitu, kereta api bergandar 2 (tanpa *bogie*) dan kereta api dengan *bogie* (gambar 2.1). Saat kereta api melewati rel yang memiliki belokan atau tikungan, maka akan terjadi kontak antara *flens* dengan rel pada salah satu sisi rodanya [3]. *Flens* adalah bagian roda kereta api paling luar yang berbentuk pipih.



Gambar 2.1 Kereta gandar 2 (kiri) dan kereta dengan *bogie* (kanan) [3]

Sudut saat melewati tikungan pada kereta tanpa *bogie* terbatas, karena roda akan selalu segaris dengan badan kereta. Sehingga saat *flens* sudah tidak bisa menahan rel, maka roda akan naik ke atas rel dan akhirnya terjadi *derailment* atau anjlok. Dengan adanya *bogie*, maka roda tidak segaris dengan badan kereta, melainkan mempunyai sudut tertentu yang memungkinkan roda bisa membelok mengikuti rel tanpa terjadi anjlok (gambar 2.2).



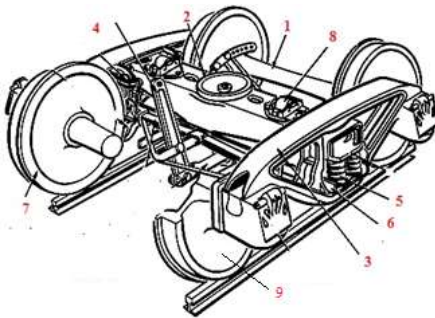
Gambar 2.2 Kereta saat menikung, kereta gandar 2 (atas) dan kereta dengan *bogie* (bawah) [3]

2.1 *Bogie*

Bogie adalah suatu konstruksi yang terdiri dari dua perangkat roda (*wheelset*) atau lebih, yang digabungkan oleh rangka dan dilengkapi dengan sistem suspensi, pengereman, dengan atau tanpa peralatan penggerak dan anti slip, serta secara keseluruhan berfungsi sebagai penompang rangka dasar gerbong kereta api [4]. Adapun fungsi lain dari *bogie* adalah:

- a. Meningkatkan daya dukung gerbong kereta api.
- b. Memudahkan perjalanan melalui tikungan.
- c. Meningkatkan kecepatan dan kenyamanan gerbong kereta api.

Komponen penyusun *bogie* terdiri antara lain, poros, *boolster*, pegas, *friction wedge*, *side frame*, komponen rem, roda, dan *bearing*. Susunan komponen penyusun dapat dilihat pada gambar 2.3 [3].



Komponen penyusun:

1. Poros
2. *Boolster*
3. *Side frame*
4. Komponen rem
5. Pegas
6. *Friction wedge*
7. *Flens*
8. *Bearing*

Gambar 2.3 Komponen penyusun *bogie* [4]

2.1.1 Tipe *Bogie*

Di Indonesia terdapat beberapa jenis *bogie* yang dipakai untuk kereta penumpang maupun barang. Tipe *bogie* yang digunakan pada kereta penumpang paling banyak macamnya. Setiap jenis *bogie* mempunyai nama yang berupa nama pabrik, nama asal negara pembuat atau seri dari tipe *bogie*, namun di PT. Kereta Api (persero) diberi nama berdasarkan bentuk dan ciri periuk gandar (*axle box*) agar lebih dikenal yaitu K-2, K-3, K-4, dst.

Bogie NT-11(K-5) merupakan *bogie* dengan populasi terbanyak di Indonesia, dan digunakan pada kereta kelas eksekutif, bisnis, dan ekonomi. *Bogie* ini menggunakan pegas ulir sebagai pegas primer maupun sekunder, yang dilengkapi dengan peredam kejut arah vertikal pada suspensi sekunder. Kereta – kereta yang menggunakan NT-11 diproduksi oleh berbagai pabrik dari Yugoslavia, Hongaria, Jepang dan PT. INKA (Indonesia). Selama ini dinilai bahwa *bogie* NT-11 merupakan *bogie* yang paling sesuai dioperasikan pada kondisi jalan rel di Indonesia.

Bogie barber adalah *bogie* yang akan dibahas pada penelitian ini, *bogie* ini adalah jenis *three pieces bogie*. Jenis *bogie* ini tersusun atas tersusun atas 3 buah rangka utama yaitu, 2 buah rangka *sideframe* dan 1 buah rangka *bolster*. Rangka tersebut terbuat dari baja tuang dengan spesifikasi tertentu. Selain

itu juga *bogie* ini dilengkapi dengan suspensi pegas ulir dan *dampers* yang berupa peredam gesek. *Bogie* ini diaplikasikan pada gerbong tertutup (GGW), gerbong ketel (KKW), gerbong batu bara (KKBW), gerbong datar untuk peti kemas (PPCW) dan juga *Pulp Wagon* [3].

2.1.2 Suspensi pada *Bogie*

Pada umumnya suspensi pada kereta api dengan *bogie* terdiri dari suspensi primer dan suspensi sekunder. Suspensi yang dimaksud terdiri dari pegas dan peredam kejutan (*dampers*). Pegas dapat berupa pegas ulir, pegas daun, pegas torsi, pegas karet atau pegas udara, sedangkan peredam kejutan dapat berupa peredam hidrolik atau peredam gesek (*friction wedge*) [4].

a. Suspensi Primer

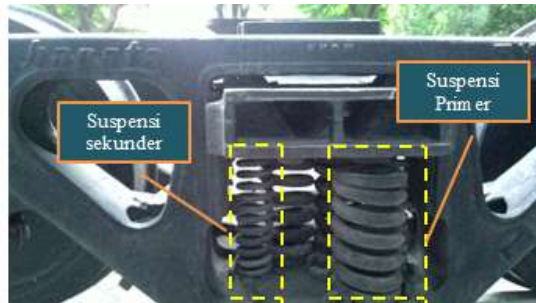
Suspensi primer (gambar 2.4) adalah suspensi dengan ukuran pegas yang lebih besar. dan mempunyai nilai konstanta pegas yang lebih besar. Fungsi dari suspensi primer adalah untuk menampung kejutan-kejutan, gaya-gaya dampak akibat ketidakrataan rel yang besar.

Pada suspensi primer terdapat jarak (*space*) yang diusahakan dalam tingkat desain agar tidak saling bersentuhan. Namun bila terjadi gaya dampak yang berlebihan atau ketidakrataan yang berlebihan (*overload*) dari yang direncanakan maka dapat saling bersentuhan.

b. Suspensi Sekunder

Suspensi sekunder (gambar 2.4) adalah suspensi dengan ukuran pegas yang lebih kecil. Suspensi sekunder berperan penting dalam menentukan kualitas kenyamanan gerbong kereta api, karena nilai konstanta pegas pada suspensi sekunder lebih kecil. Pada sistem suspensi sekunder dilengkapi dengan peredam kejutan.

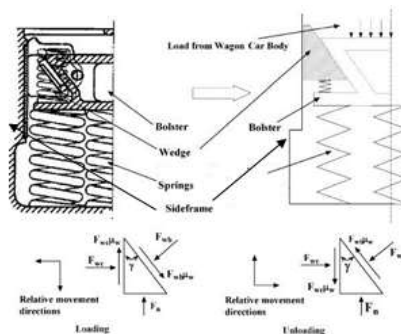
Gangguan-gangguan dari ketidakrataan rel, kejutan-kejutan, dampak, gerakan, dan gaya-gaya ditikungan, serta gerakan sinusoidal pada jalan lurus akan diredam oleh suspensi sekunder, kemudian baru dirasakan oleh gerbong kereta api.



Gambar 2.4 Suspensi sekunder (kiri) dan suspensi primer (kanan)

2.1.3 Friction Wedge

Pada suspensi sekunder terdapat peredam kejut (*dampers*) yang berfungsi untuk meredam hentakan yang disebabkan oleh energi kinetik. Peredam kejut pada *boogie* umumnya berupa *friction wedge* yang bekerja dengan cara bergesekkan dengan *side frame*. Pada perencanaan *side frame* tidak boleh aus, maka pada bagian yang bergesekkan dengan *friction wedge* diberikan plat mangan. Sifat dari plat mangan sendiri adalah ketahanan aus yang sangat baik dan dapat menjadi lebih keras saat dikenai gesekan. Gaya-gaya saat *friction wedge* bergesekkan dengan *side frame* dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Gaya-gaya yang bekerja pada *friction wedge* [4]

Friction wedge dibuat dari bahan dasar baja AISI 1340 melalui proses pengecoran (gambar 2.6). Dalam perencanaan-nya, *friction wedge* di desain agar aus saat bekerja pada sisi yang ditunjukkan gambar 2.6. Hal ini dilakukan karena biaya penggantian-nya lebih murah dan pemasangan-nya pun lebih mudah. Walaupun di desain agar aus, *friction wedge* tetap diharuskan agar memiliki sifat keras dan tahan aus yang baik agar *life cycle*-nya panjang



Gambar 2.6 Hasil pengecoran *friction wedge*

2.2 Baja

Baja adalah suatu paduan dengan unsur utama besi (Fe) dan karbon (C), dimana kadar karbon tidak boleh lebih dari 2% berat totalnya [1]. Baja merupakan paduan yang sering digunakan karena jumlah bahan baku yang melimpah dan proses pengolahannya mudah. Karena alasan tersebut, baja menjadi pilihan dalam desain dari suatu konstruksi.

Berdasarkan komposisi kimianya, baja diklasifikasikan menjadi 2 bagian utama. Baja dengan unsur paduan karbon saja diklasifikasikan sebagai baja karbon (*plain carbon steel*). Baja dengan unsur paduan lebih dari satu jenis disebut dengan baja paduan (*alloy steel*).

2.2.1 Baja Karbon

Baja karbon adalah baja dengan paduan utama karbon dan sedikit unsur lain. Berdasarkan jumlah kadar karbon yang menyusun, baja karbon diklasifikasikan menjadi tiga jenis antara lain, baja karbon rendah dengan jumlah kadar karbon yang menyusun maksimal 0.25%, baja karbon menengah dengan jumlah kadar karbon yang menyusun antara 0.25-0.55%, dan baja karbon tinggi dengan jumlah kadar karbon yang menyusun lebih dari 0.55% [5].

Baja karbon banyak digunakan dalam konstruksi mesin karena mempunyai beberapa keunggulan. Pertama, ketersediaan biji besi yang melimpah di alam dan kemudahan teknologi untuk mengolah biji besi menjadi baja, membuat harga baja karbon relatif murah. Kedua, baja karbon mempunyai rentang kekuatan yang lebar dimana kekuatannya dapat divariasikan melalui proses perlakuan panas, sehingga dapat digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kekuatan rendah sampai tinggi. Ketiga, baja karbon mempunyai keuletan yang cukup baik, sehingga mudah dilakukan proses pembentukan ataupun pemesian.

Selain keunggulan, baja karbon mempunyai keterbatasan antara lain, mengalami penurunan kekuatan seiring dengan naiknya temperatur, mempunyai ketahanan impak yang buruk pada temperatur rendah, mempunyai ketahanan korosi yang buruk, dan mengalami oksidasi pada temperatur tinggi. Selain itu jika baja karbon dikuatkan melebihi 690 MPa, maka terjadi penurunan keuletan dan ketangguhan yang sangat signifikan.

2.2.2 Baja Paduan

Baja paduan adalah baja dengan dengan unsur paduan lebih dari 1 jenis dan karakteristik baja tersebut dipengaruhi oleh unsur paduannya [5]. Penambahan unsur paduan pada baja memiliki tujuan antara lain menaikkan *hardenability*, menaikkan kekuatan, menaikkan ketangguhan, menaikkan ketahanan korosi, dan menaikkan ketahanan aus.

Baja paduan diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan jumlah kadar penyusun paduan. Paduan dengan kadar unsur penyusun paduan kurang dari 8% disebut dengan baja paduan rendah (*low alloy steel*), sedangkan kadar unsur paduan lebih dari 8% disebut baja paduan tinggi (*high alloy steel*) [5].

2.2.3 Baja AISI 1340

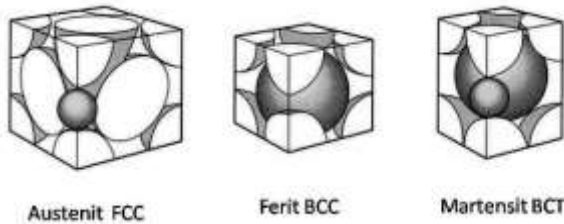
Baja AISI 1340 tergolong dalam *low alloy manganese steel* dengan kadar karbon 0,40%. Komposisi kimia dari baja AISI 1340 dapat dilihat pada tabel 2.1. Penambahan unsur mangan (Mn) > 0.8% akan meningkatkan *hardenability* baja, meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja [8]. Baja ini banyak diaplikasikan untuk komponen mesin, konstruksi, *screws*, *friction wedge*.

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja AISI 1340 [5]

AISI number	<i>Ladle chemical composition (%)</i>								
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	v
1335	0.33-0.38	1.60-1.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	-	-
1340	0.38-0.43	1.60-1.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	-	-
1345	0.43-0.48	1.60-1.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	-	-

2.3 Fasa dan Struktur Mikro

Baja memiliki sifat *allotropy* karena memiliki lebih dari satu jenis susunan kristal yang tergantung dari temperatur-nya [8]. Pada temperatur kamar hingga temperatur 910⁰C, besi murni memiliki susunan kristal *body-centered cubic* (BCC) yang disebut dengan *ferrite*. Pada temperatur 910⁰C hingga 1400⁰C, struktur kristal besi akan bertransformasi menjadi *face-centered cubic* (FCC) yang disebut dengan *austenite*. Pada temperatur di atas 1400⁰C terjadi perubahan dari FCC menjadi BCC yang disebut δ -*ferrite*, sebelum akhirnya besi berubah menjadi cair. Detil dari transformasi fasa yang terjadi akibat pemanasan-pendinginan dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.8 Bentuk geometri susunan kristal fasa [8]

Martensite merupakan salah satu produk dekomposisi *austenite*, sehingga proses pembentukan martensite diawali dari fasa *austenite*. Fasa *austenite* stabil pada temperatur kritis atas. Pada proses *quenching*, fasa *austenite* akan bertransformasi menjadi *ferrite* sampai mencapai temperatur M_s [7]. Pada temperatur M_s pendinginan cepat menyebabkan karbon di dalam *austenite* tidak dapat berdifusi, hal ini menyebabkan atom terjebak di dalam *ferrite*.

Kelarutan karbon di dalam *ferrite* lebih rendah dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam *austenite*. Hal ini menyebabkan karbon yang terjebak selama proses memperbesar ukuran *lattice* dari *ferrite*. *Ferrite* dengan struktur kristal tereksansi karena adanya karbon terlarut disebut dengan *martensite*. Ekspansi yang disebabkan oleh karbon menyebabkan regangan pada salah satu kisi dari susunan kristal sehingga terjadi peningkatan kekerasan.

2.4 Proses Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas atau *heat treatment* adalah kombinasi pemanasan dan pendinginan untuk memperoleh struktur mikro tertentu agar sifat mekanik sesuai yang diinginkan. Dasar proses perlakuan panas untuk baja adalah merubah fasa *austenite* menjadi fasa lain, misalnya *ferrite*, *martensite*, *pearlite*, atau *bainite* [7].

Proses perlakuan panas dapat dibedakan menjadi dua, yaitu proses perlakuan panas yang menghasilkan struktur *equilibrium* dan yang menghasilkan struktur *non-equilibrium*. Perbedaan kedua perlakuan panas tersebut adalah pada temperatur pemanasan, lama waktu penahanan, dan kecepatan pendinginan [7]. Sifat mekanik baja yang dihasilkan dari proses perlakuan panas *equilibrium* adalah ketangguhan dan keuletan yang tinggi, contohnya *annealing* dan *normalizing*. Sedangkan sifat mekanik baja yang dihasilkan dari proses perlakuan panas *non-equilibrium* adalah kekerasan dan kekuatan yang tinggi, contohnya *quenching*, *tempering*, dan *austempering*.

2.4.1 Proses Quenching

Proses *quenching* adalah proses perlakuan panas dengan laju pendinginan cepat yang dilakukan dalam suatu media *quenching* seperti air, oli, atau polimer untuk memperoleh sifat kekerasan yang lebih tinggi [7]. Proses *quenching* diawali dengan memanaskan baja hingga temperatur austenisasi kemudian ditahan selama beberapa saat untuk menghomogenkan seluruh fasa pada baja menjadi *austenite*. Baja yang *austenite*-nya telah homogen didinginkan dengan cepat melalui pencelupan ke media *quenching* seperti oli atau air.

Tingkat kekerasan yang akan dihasilkan tergantung dari kadar karbon dalam baja, temperatur pemanasan, waktu penahanan, media pendinginan dan *hardenability* baja itu sendiri. Seberapa tebal bagian penampang yang menjadi keras saat proses *quenching*, tergantung pada *hardenability* baja dan laju pendinginan. Untuk mendapatkan kekerasan yang maksimum, *austenite* harus bertransformasi menjadi *martensite*. Bila *austenite* ada yang bertransformasi menjadi selain *martensite*, misalnya *ferrite*, maka kekerasan yang didapat tidak bisa maksimum.

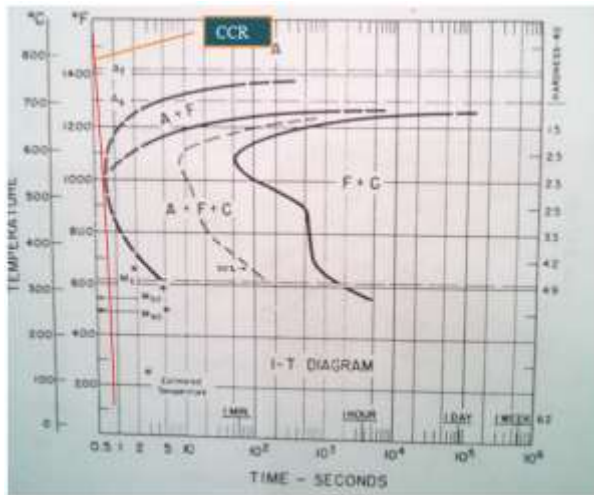
Temperatur austenisasi untuk baja *hypoeutectoid* yaitu 30-50°C di atas temperatur kritis A3, sedangkan temperatur austenisasi baja *hypereutectoid* yaitu 30-50°C di atas temperatur kritis A1. Temperatur austenisasi baja aisi 1340 dapat dilihat pada tabel 2.2. Proses transformasi *austenite* menjadi produk *austenite* (*martensite*, *ferrite*, *pearlite*, dan *bainite*) dapat dilihat pada diagram *Continuous Cooling Transformation* (CCT). Diagram ini akan memperlihatkan pengaruh dari kecepatan pendinginan terhadap produk transformasi *austenite* yang terbentuk. Diagram IT untuk baja AISI 1340 dapat dilihat pada gambar 2.9.

Tabel 2.2 Temperatur austenisasi baja AISI 1340 [5]

Alloy steels	Temperature	
	°C	°F
1330	830-855	1525-1575
1340	815-845	1500-1550
1345	815-845	1500-1550

Waktu penahanan untuk menjadikan *austenite* homogen saat proses austenisasi tergantung dari ketebalan material. Umumnya waktu penahanan minimal adalah 1 jam, dan bertambah 15-20 menit untuk setiap pertambahan tebal 25 mm [6].

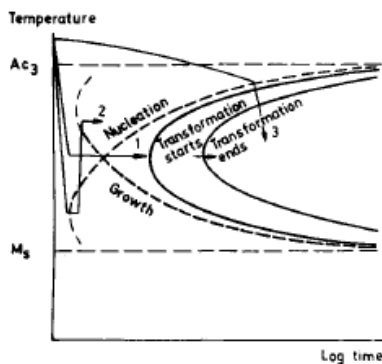
Kecepatan pendinginan yang sangat lambat akan menghasilkan fasa yang *equilibrium* yaitu *ferrite* dan *pearlite*. Laju pendinginan yang cepat diperlukan untuk mendapatkan fasa *martensite*. Fasa *martensite* akan terbentuk ketika baja mencapai temperatur Ms (*Martensite start*) sebelum waktu tertentu. Laju pendinginan minimum yang diperlukan untuk mendapatkan 100% *martensite* disebut dengan *Critical Cooling Rate* (CCR) [7]. Temperatur Ms pada baja AISI 1340 adalah 300°C dengan waktu minimal untuk mencapai CCR adalah 1 detik.



Gambar 2.9 Diagram IT baja AISI 1340 [5]

2.4.2 Interrupted Quenching

Proses *interrupted quenching* dilakukan saat sebelum transformasi pada Ms, hal ini dilakukan untuk memperbaiki kelemahan pada proses konvensional *quenching*. Gambar 2.10 menunjukkan skema pengintian dan pertumbuhan saat transformasi isothermal pada baja karbon *eutectoid*.

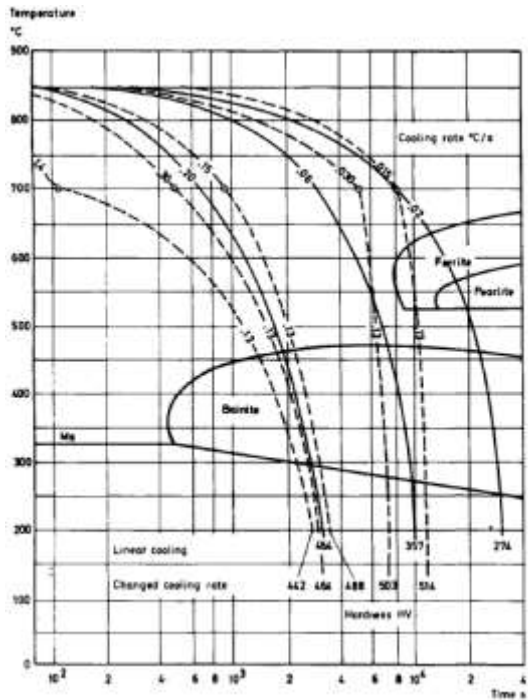


Gambar 2.10 Skema pengintian dan pertumbuhan saat transformasi *isothermal* [7]

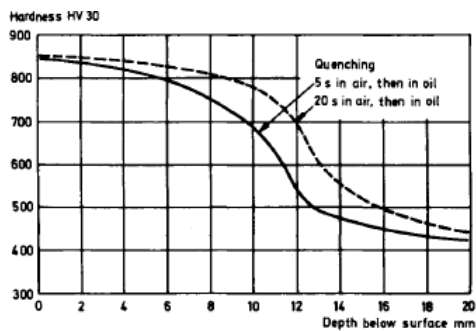
Pada *mode 1*, laju pendinginan cepat sampai pada range temperatur di depan *nose* kemudian ditahan di sana, maka laju pengintian dan laju pertumbuhan sama besar, transformasi akan terjadi seperti ditunjukkan pada gambar. Bila temperaturnya dinaikkan (*mode 2*), laju pertumbuhan akan lebih cepat dan waktu untuk menyelesaikan transformasi akan lebih cepat dari pada *mode 1*. Jika laju pendinginan menuju *austenite metastable* lambat, maka laju pengintian juga lambat, yang akan menghasilkan butiran *austenite* yang besar (*coarse*), hal ini akan meningkatkan kedalaman pengerasan dari baja (*mode 3*). Laju pendinginan setelah melewati garis pengintian harus cepat agar kedalaman pengerasan baja meningkat [7]. Ukuran butiran *austenite* akan mempengaruhi *hardenability*, semakin kecil ukuran butiran akan menurunkan *hardenability*, hal ini dikarenakan seiring menurunnya ukuran butiran akan meningkatkan luasan dari batas butir, sehingga akan memberikan kesempatan yang lebih besar untuk *pearlite* agar bisa bertransformasi pada batas butir.

Untuk membuktikan hipotesis di atas, gambar 2.11 disusun dengan berbagai macam laju pendinginan (garis putus-putus) pada temperatur 700°C. Kemudian, dilakukan perbandingan antara garis *solid* dengan garis putus-putus. Kesimpulan yang dapat diambil adalah, bila laju pendinginan melewati *austenite metastable* lambat maka kekerasan dari baja akan meningkat.

Percobaan *quenching* dengan oli pada *tool steel* SS 2092, dengan dimensi $\varnothing 70$ mm x 95 mm (gambar 2.12), menunjukkan bahwa kedalaman kekerasan yang didapat meningkat saat penahanan di udara ditingkatkan dari 5 detik menuju 20 detik. Hal ini menunjukkan bahwa *mode 3* (*interrupted quenching*) dapat meningkatkan *hardenability* baja [7].



Gambar 2.11 Diagram CCT baja SS 2541 [7]

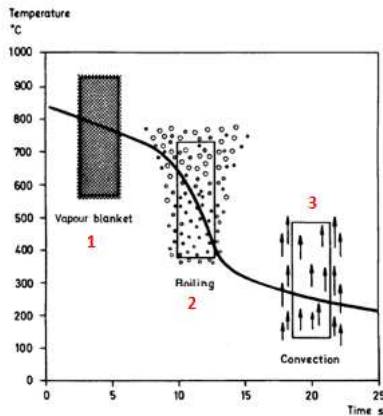


Gambar 2.12 Profil kekerasan pada benda uji [7]

2.4.3 Media *Quenching*

Ketika melakukan proses *quenching* pada benda uji atau komponen mesin, dimaksudkan untuk mendapatkan struktur mikro *martensite*. Laju pendinginan harus di kontrol agar formasi dari *ferrite*, *pearlite* dan *bainite* dapat dihindari. Karena dimensi dari benda uji ditentukan sebelum proses perlakuan panas, kedalaman kekerasan harus ditentukan dengan memilih tipe baja dan media pendingin. Untuk media pendingin, tidak tersedia kriteria yang sesuai tentang kapasitas pendinginnya. Aturan mudah yang sering diaplikasikan adalah, baja *non* paduan di *quench* di air, baja paduan rendah di *quench* di oli, dan baja paduan tinggi di *quench* di udara [7].

Saat melakukan *quenching* pada media pendingin, operasi keseluruhan dapat dibagi menjadi tiga tingkat (Gambar 2.13).



Gambar 2.13 Tiga tingkatan kurva pendinginan [7]

1. Tingkat selimut uap

Saat tingkat selimut uap, akan terbentuk lapisan uap tipis yang akan mengisolasi panas sehingga menghambat perpindahan panas, dapat dilihat grafik penurunan temperaturnya agak datar.

2. Tingkat pendidihan

Saat tingkat mendidih, ada laju perpindahan panas yang tinggi, disebabkan karena energi yang dikonsumsi oleh

pembentukan uap dan olakan yang kuat, dapat dilihat grafik penurunan temperaturnya paling curam

3. Tingkat konveksi

Saat tingkat konveksi, perpindahan panas lebih lambat dan kurva agak datar.

Media *quenching* yang digunakan antara lain:

a.) Air

Air adalah media *quenching* yang paling sering digunakan dalam proses *quenching*. Air murni atau aquades memiliki kapasitas pendinginan yang sangat besar pada temperatur 300°C, temperatur dimana pada kebanyakan baja formasi *martensite* mulai terbentuk. Hal ini akan mempengaruhi tegangan yang terjadi saat transformasi, sehingga akan meningkatkan resiko terjadinya *crack* [7].

Bahaya dari *crack* yang terjadi selama proses *quenching* pada media air dapat dikurangi dengan cara mengeluarkan baja saat temperaturnya 200-400°C, kemudian di *quench* pada media oli. Cara ini juga akan meningkatkan kedalaman kekerasan pada baja paduan rendah.

b.) Oli

Kapasitas pendinginan oli lebih kecil dari pada air. Ada berbagai macam jenis oli yang bisa dijadikan media *quenching*. *Spindle oil* adalah oli mineral standar yang paling mudah didapat dan harganya murah. Pada umumnya, oli memiliki kapasitas pendinginan tertinggi pada temperatur 600°C, dan agak rendah pada temperatur pembentukan *martensite*. Karena oli mempunyai kapasitas pendinginan yang lebih lambat dari air, maka oli sering digunakan untuk baja paduan rendah sampai medium, dengan dimensi yang tidak terlalu besar [7].

Ada beberapa cara untuk meningkatkan kapasitas pendinginan oli. Pertama, dengan memberikan olakan pada *oil bath*. Kedua, dengan meningkatkan temperatur oli sampai 50-80°C. Ketiga, dengan mencampurkan 'water-soluble' oli dan air (*emulsions*).

c.) Polimer

Pencampuran air dan 10% polimer seperti *polyvinyl alcohol* (PVA), akan mendapatkan kapasitas pendinginan antara kapasitas pendinginan air dan oli. Keunggulan menggunakan polimer adalah mengurangi resiko timbulnya api yang terjadi saat pendinginan pada media oli. Dengan tambahan 2% polimer pada air, resiko terjadinya *crack* pada baja non paduan yang di *quench* dapat dikurangi tanpa kehilangan kekerasan yang diinginkan [7].

Konsentrasi polimer pada media *quenching* harus dijaga, karena apabila konsentrasi polimer meningkat akan meningkatkan juga kapasitas pendinginan, yang akan mengakibatkan terjadinya *crack*. Kadar pH juga harus dijaga agar diatas 7.5, karena bila pH dibawah 7.5 akan menimbulkan bahaya korosi pada baja.

2.5 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah pengujian untuk mengukur ketahanan material terhadap deformasi plastis lokal (indentasi atau goresan) [8]. Terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujiannya. Ketiga jenis tersebut yaitu:

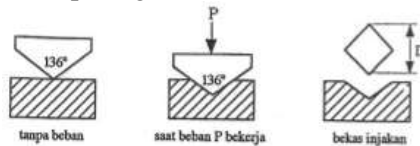
1. Kekerasan goresan.
2. Kekerasan indentasi.
3. Kekerasan pantulan atau dinamik.

Uji kekerasan yang sering dipergunakan pada logam adalah jenis pengujian kekerasan indentasi. Metode pengujian kekerasan indentasi antara lain pengujian kekerasan metode *Brinell*, *Rockwell*, *Vickers*, dan lain-lain. Pada penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan metode *vickers*, karena pengujian ini sesuai untuk baja yang sudah dilakukan proses *hardening* dan jarak indentasi nya kecil sehingga sesuai untuk mengetahui kedalaman pengerasannya.

Pada uji kekerasan dengan metode *vickers*, benda uji ditekan dengan indenter piramida intan dengan sudut 136° . Harga kekerasan diperoleh dari rumus :

$$HV = 1.8544 \cdot P/d^2$$

Dimana P merupakan beban yang digunakan dan d merupakan panjang diagonal rata-rata. Mekanisme indentasi *vickers* dapat dilihat pada gambar 2.14

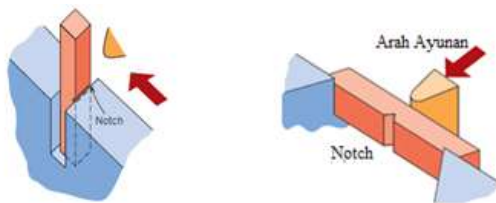


Gambar 2.14 Mekanisme indentasi *vickers* [10]

2.6 Pengujian Impak

Pengujian impak digunakan untuk mengetahui ketahanan material terhadap beban kejut (ketangguhan impak) dan pola patahan (*fractography*). Pada pengujian impak digunakan batang uji yang bertakik (*notch*) yang dipukul dengan sebuah bandul. Ada dua standar pengujian yang digunakan, yaitu metode *Charpy* dan metode *Izod* [10].

Pada metode *Charpy*, batang uji diletakkan mendatar dan ujung-ujungnya ditahan ke arah mendatar oleh penahan. Bandul berayun akan memukul benda uji tepat di belakang takikan (gambar 2.15). Pada metode *Izod*, batang uji dijepit pada satu ujung sehingga takikan berada di dekat penjepitnya. Bandul berayun akan memukul ujung yang lain dari arah takikan (gambar 2.15)



Gambar 2.15 Metode *Izod* (kiri) dan metode *Charpy* (kanan) [10]

Energi untuk mematahkan benda uji adalah:

$$E = W \times l (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (\text{joule})$$

Kekuatan impak dari logam adalah:

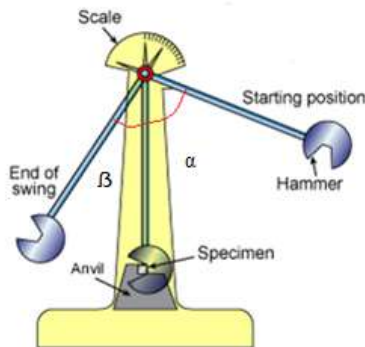
$$IS = \frac{W \times l (\cos \beta - \cos \alpha)}{A} \quad (\text{joule/mm}^2)$$

Dimana:

W= berat bandul (N)

l= Panjang bantul (m)

A= luas penampang pada bagian takik (mm²)



Gambar 2.16 Skema pengujian impak [10]

2.7 Pengujian Keausan

Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan antar permukaan padatan. Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan) [2]. Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam.

Macam-macam tipe keausan :

1. Keausan adesif (*adhesive wear*)

Keausan adesif terjadi bila kontak permukaan dari material mengakibatkan adanya perlekatan (*adhesive*) antara satu sama lain, sehingga terjadi deformasi plastis. Mekanisme keausannya pada gambar 2.17



Gambar 2.17 Mekanisme keausan adesif [2]

2. Keausan abrasif (*abrasive wear*)

Terjadi bila suatu partikel keras dari material tertentu bergesekan pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak, mekanisme keausannya pada gambar 2.18.

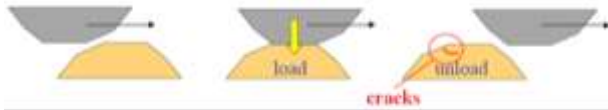


Gambar 2.18 Mekanisme keausan abrasif [2]

3. Keausan Lelah (*fatigue wear*)

Keausan lelah merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan adesif maupun abrasif melibatkan hanya satu interaksi, sementara pada keausan lelah dibutuhkan multi interaksi.

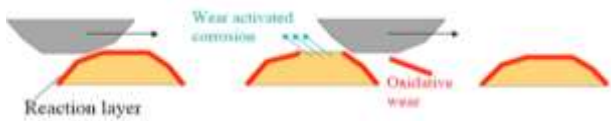
Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Jadi, volume material yang hilang oleh keausan lelah bukanlah parameter yang terlalu penting, tetapi yang lebih penting adalah umur material setelah mengalami revolusi putaran atau waktu sebelum keausan lelah muncul. Gambar 2.19 menunjukkan mekanisme keausan lelah.



Gambar 2.19 Mekanisme keausan lelah [2]

4. Keausan Korosif (*corrosive wear*)

Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di permukaan oleh faktor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. akibatnya, material akan mengarah kepada perpatahan *interface* antara lapisan permukaan dan material induk, sampai lapisan permukaan itu akan tercabut. Gambar 2.20 menunjukkan mekanisme keausan korosif.



Gambar 2.20 Mekanisme keausan korosif [2]

Perhitungan pada keausan abrasif dengan menggunakan mesin Tribometer tipe *pin on disk* ditunjukkan pada rumus berikut:

Mencari perubahan volume:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

Dimana : ΔV = perubahan volume (mm³)

Δm = perubahan massa (gram)

ρ = massa jenis (gram/mm³)

Maka laju keausan K dapat dicari dengan rumus :

$$K = \frac{\Delta V}{F.L}$$

Dimana : K = laju keausan (mm³/N.m)

ΔV = perubahan volume (mm³)

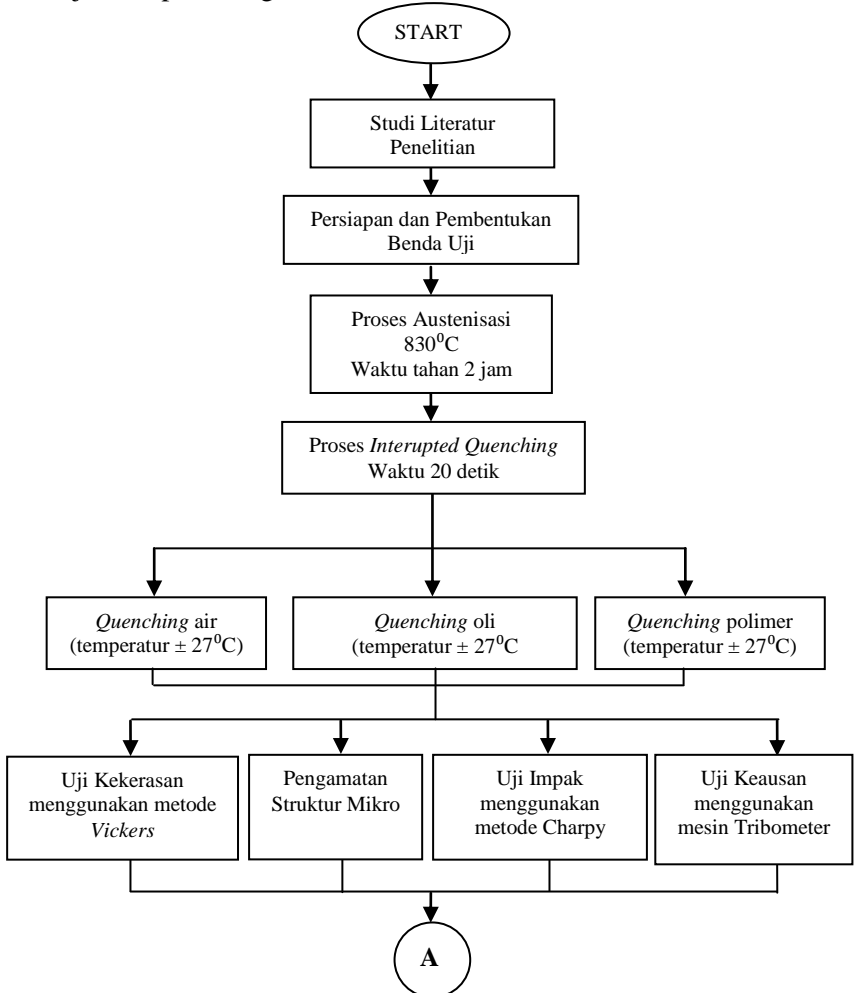
F = Beban (N)

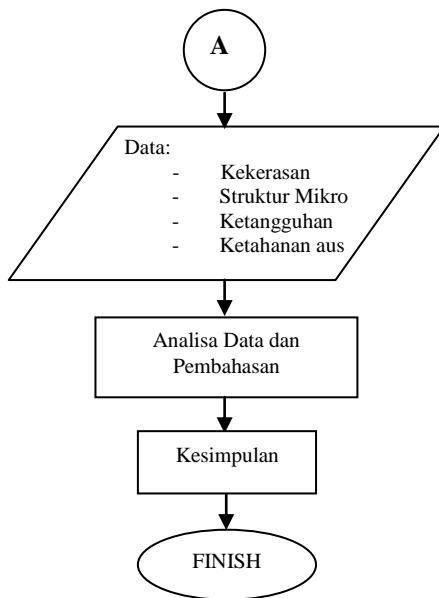
L = *sliding distance* (m)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan observasi yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir di bawah ini:





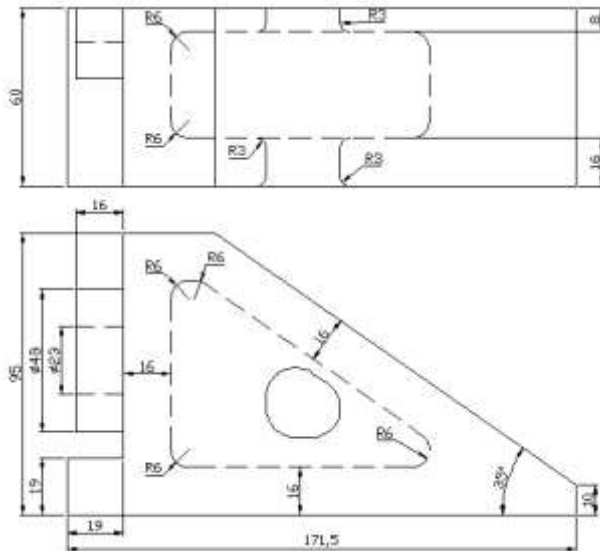
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Material

Sample benda uji merupakan pemberian salah satu perusahaan pengecoran dalam negeri, foto dimensi sample benda uji bisa dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.2 Sample benda uji *fritcion wedge*



Gambar 3.3 Dimensi *friction wedge* yang telah dipotong

Sample benda uji merupakan hasil pengecoran dari material dasar AISI 1340 yang memiliki komposisi kimia pada tabel 3.1:

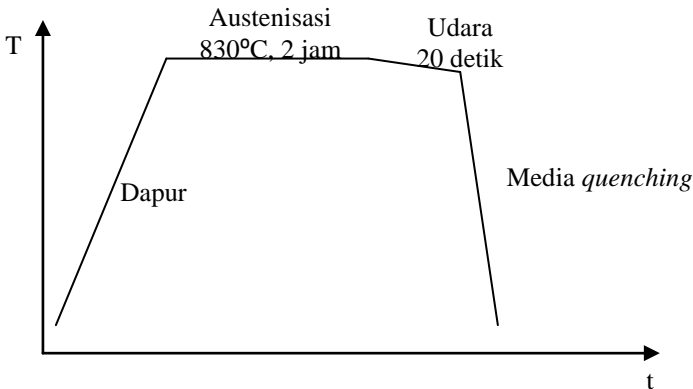
Tabel 3.1 Komposisi kimia benda uji

Unsur	Sample <i>as cast</i> (%)	Standar AISI 1340 (%)
Carbon (C)	0,46	0,38-0,43
Mangan (Mn)	1,76	1,6-1,9
Ferrous (Fe)	Balanced	Balanced
Posphour (P)	0,016	Max 0,035
Sulphur (S)	0,008	Max 0,04
Silicon (Si)	0,27	0,15-0,35
Chromium (Cr)	0,13	-
Nickel (Ni)	0,14	-
Vanadium (V)	0,004	-

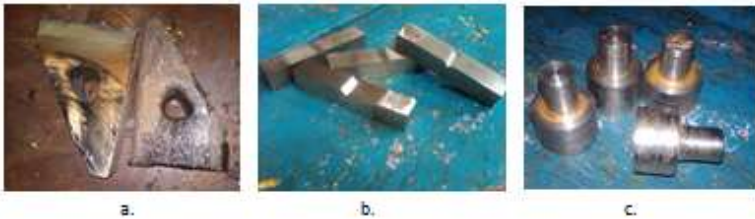
3.3 Proses Perlakuan Panas

1. Benda uji *friction wedge* dengan kondisi *as cast* dipotong menjadi 2 bagian yang simetris (gambar 3.5a).
2. Benda uji yang telah dipotong dibentuk menjadi spesimen standar uji impak (gambar 3.5b) dan keausan (gambar 3.5c).
3. Persiapan benda standar uji keausan dan benda standar uji impak masing-masing sebanyak 3 buah.
4. Benda uji dipanaskan di tungku dapur sampai mencapai temperatur 830°C .
5. Penahanan dilakukan selama 2 jam pada temperatur tersebut.
6. Benda uji dikeluarkan dari dapur dan ditahan di udara selama 20 detik.
7. Benda uji dimasukkan ke dalam media *quenching* masing-masing, oli, air, dan polimer.
8. Langkah 1-7 diulangi sebanyak 2 kali.

Skema proses perlakuan panas *interrupted quenching* dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skema proses perlakuan panas *interrupted quenching*



Gambar 3.5 (a) *Friction wedge* dipotong menjadi 2; (b) Benda uji standar pengujian impak; (c) Benda uji standar pengujian keausan

3.4 Media *Quenching*

3.4.1 Air

Media *quenching* yang digunakan adalah *aquades* dengan tingkat $\text{ph} \pm 7$, massa jenis $0,998 \text{ Kg/L}$, *heat capacity* $4,18 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$, dan kondisi berada di temperatur kamar. Dalam penggunaannya tidak dilakukan agitasi.



Gambar 3.6 Media *quenching aquades*

3.4.2 Oli

Oli yang digunakan sebagai media *quenching* adalah oli mineral mesran SAE 20W produksi Pertamina. Oli standar yang digunakan pada kendaraan 4-tak dan media pendinginan di perusahaan dengan nilai *heat capacity* $1,8 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$. Dalam penggunaannya tidak dilakukan agitasi dan kondisi berada pada temperatur kamar. Spesifikasi ditunjukkan pada tabel 3.2:

Tabel 3.2 Spesifikasi oli mesran

	MESRAN 10W	MESRAN 20W	MESRAN 30
No. SAE			
Specific gravity, 15/4° C	10W	20W	30
Kinematic Viscosity, at 40°C, cSt	0.8802	0.8863	0.8895
_____ 100°C, cSt	39.30	63.30	100.47
CCS Visc at -10 C, cP	6.25	8.04	11.62
Viscosity Index	106	97	102
Colour, ASTM	4.0	4.0	4.0
Flash Point, COC, °C	240	240	240
Pour Point, °C	9	9	9
Total Base Number, mg KOH/g	5.24	5.24	5.20

3.4.3 Polimer

Polimer yang digunakan adalah *Polyvinyl Alcohol* (PVA) dengan warna dasar putih yang di campur dalam *aquades*. Perbandingan volume PVA dan *aquades* yang digunakan adalah 1:10 atau 10% *polymer aqueous*. *heat capacity polymer aqueous* adalah 1-5 KJ/Kg.⁰C. Dalam penggunaannya tidak dilakukan agitasi dan kondisi berada pada temperatur kamar.

Gambar 3.7 *Polyvinyl alcohol*

3.5 Peralatan yang Digunakan

Ada beberapa peralatan yang digunakan dan menunjang dalam penelitian ini, yaitu:

3.5.1 Dapur Pemanas

Dapur pemanas yang digunakan pada penelitian ini adalah milik Laboratorium Metallurgy Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.



Gambar 3.8 Dapur pemanas

3.5.2 Peralatan Potong

Peralatan yang digunakan untuk membentuk spesimen uji kekerasan, uji impak dan uji tahan aus antara lain adalah *cutting wheel*, gerinda tangan, mesin bubut, mesin sekrup. Semua peralatan potong yang digunakan adalah milik Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.



Gambar 3.9 *Cutting wheel*

3.5.3 Peralatan Ukur

Peralatan ukur yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah jangka sorong mikrometer sekrup, *stopwatch*, busur derajat, timbangan digital. Semua peralatan ukur yang digunakan adalah milik Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.

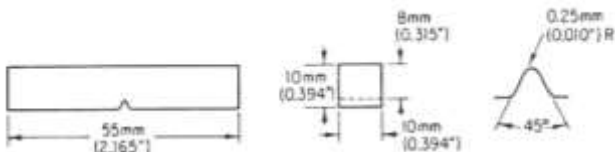


Gambar 3.10 Timbangan digital

3.6 Pengujian

3.6.1 Pengujian Impak

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan kekuatan impak dan ketangguhan impak *friction wedge*. Lokasi pemotongan dan bentuk benda uji dibentuk menjadi sesuai standar JIS Z 2202 seperti pada gambar 3.11. Uji impak ini dilakukan pada temperatur kamar menggunakan metode Charpy.



Gambar 3.11 Dimensi standar benda uji impak

Adapun prosedur pengujian impak ini adalah:

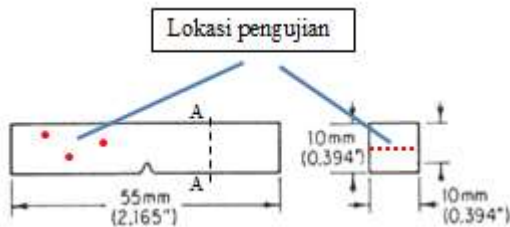
1. Benda uji diletakkan pada landasan dengan takik berada di tengah dan menghadap berlawanan dari arah datangnya bandul.
2. Bandul/beban dinaikkan sebesar sudut 156^0 dengan memutar tuas.
3. Posisi jarum penunjuk skala diatur pada posisi nol.
4. Bandul dilepas.
5. Energi yang digunakan untuk mematahkan benda uji dapat dilihat pada jarum skala penunjuk.
6. Kekuatan impak material dihitung.
7. Langkah 1-6 di ulangi untuk tiap benda uji.



Gambar 3.12 Alat uji impak

3.6.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan kedalaman kekerasan *friction wedge*. Uji kekerasan menggunakan mesin uji *wolpert*, dilakukan berdasarkan metode *vickers* dengan indenter kerucut intan yang memiliki sudut puncak 136^0 . Pengujian dilakukan pada benda uji hasil pengujian impak. Lokasi pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Lokasi pengujian kekerasan pada benda uji

Adapun prosedur pengujian kekerasan *vickers* yaitu:

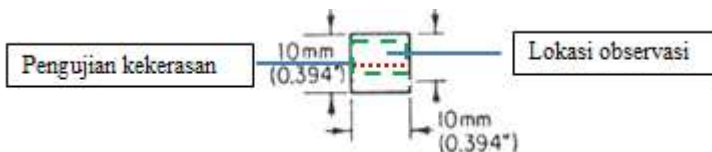
1. Benda uji dipotong pada jarak yang ditunjukkan pada gambar 3.13.
2. Benda uji digosok dengan menggunakan kertas gosok *grid* 200-2000 pada mesin grinding.
3. Daerah permukaan benda uji dilakukan pemetaan secara acak dengan jumlah 3 titik indentasi.
4. Daerah penampang permukaan benda uji dilakukan pemetaan 1 mm dari tepi dan tiap titik berjarak 0.8 mm, didapatkan 11 titik indentasi.
5. Benda uji dipasang pada mesin *vickers* dan diatur fokus pencahayaannya pada lensa optis.
6. Benda uji diberi gaya yang telah ditentukan.
7. Panjang diagonal dibaca pada *measuring microscope*.
8. Langkah 4-6 di ulangi untuk titik yang sudah dilakukan pemetaan.
9. Langkah 1-7 diulangi untuk tiap benda uji.



Gambar 3.14 Alat uji kekerasan *vickers* tipe wolpert

3.6.3 Observasi Struktur Mikro

Dalam pengujian ini dibutuhkan mikroskop optis untuk mengamati struktur mikro dan fase yang terdapat pada masing-masing benda uji.



Gambar 3.15 Lokasi observasi struktur mikro

Prosedur dalam menganalisa struktur mikro adalah:

1. Benda uji hasil kekerasan di grinding dengan menggunakan kertas gosok dengan *grid* 2000 dan dialiri air.
2. Benda uji dipoles menggunakan serbuk alumina 0.05 mikron dengan menggunakan kain bludru sampai tidak ada goresan.

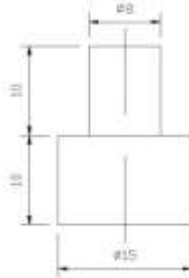
3. Benda uji di etsa menggunakan larutan Picral selama beberapa detik, kemudian benda uji segera dicuci dengan alkohol.
4. Benda uji diamati struktur mikro dan fasa yang terbentuk dengan mikroskop optis dengan perbesaran 500x dan 1000x.
5. Langkah 1-4 diulangi untuk tiap benda uji.



Gambar 3.16 Mesin grinding

3.6.4 Pengujian Keausan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan *friction wedge* terhadap gesekan dengan plat mangan. Uji keausan ini dilakukan pada temperatur kamar menggunakan mesin tribometer tipe *pin on disk*. Dimensi standar benda uji dibentuk seperti pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Dimensi standar benda uji keausan

Adapun prosedur pengujian keausan ini adalah:

1. Permukaan benda uji dilakukan *grinding* dengan *grid* 150.
2. Benda uji ditimbang untuk mengetahui massa awal.
3. Jarak tempuh ditentukan 1000 m.
4. *Speed control* diatur pada posisi 70.
5. Disk yang berupa plat mangan (gambar 3.18a) dipasang dan dikencangkan
6. Benda uji dipasang dan dikencangkan.
7. *Load adjuster* diatur pada posisi 6 Kg.
8. Waktu tempuh dihitung dan didapatkan 82 menit.
9. Mesin tribometer dinyalakan dan di tunggu selama waktu tempuh.
10. Benda uji ditimbang untuk mengetahui massa akhir.
11. Langkah 1-10 di ulangi untuk tiap benda uji.



a.



b.

Gambar 3.18 (a) Plat mangan;
(b) Mesin tribometer tipe *pin on disk*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN

4.1 Pengujian Impak

Pengujian impak digunakan untuk mengetahui ketahanan material terhadap beban kejut (ketangguhan impak) dan pola patahan (*fractography*). Dimensi standar benda uji impak yaitu 55 mm x 10 mm x 10 mm dengan takikan berbentuk V (*V-notch*). Gambar 4.1a) merupakan benda uji sebelum dilakukan pengujian impak dan gambar 4.1b) merupakan benda uji setelah dilakukan pengujian impak.



Gambar 4.1 Benda uji standar pengujian impak
a) Sebelum pengujian; b) Setelah pengujian

Pengujian impak dilakukan dengan 3 replikasi pada setiap variasi media *quenching*. Data hasil eksperimen pengujian impak ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil eksperimen pengujian impak pada benda uji

DATA PERCOBAAN	As cast			Media Quenching								
				Air			Polimer			Oli		
Replikasi ke-	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sebelum percobaan												
Standar Pengujian	JIS Z2242											
Standar Spesimen	JIS Z2202											
Temperatur uji	Temperatur Kamar											
Panjang benda uji (mm)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Tebal benda uji (mm)	10.3	10	9.9	10.2	10	10.1	10	10.2	10	10	10.2	10.2
Lebar benda uji (mm)	10.5	10.2	10.2	10.1	10.1	10.1	10.3	10.2	10.1	10	10	9.5
Saat percobaan												
Energi Impak (Kpm)	5	6	6	6	5	6	9	11	12	7	9	6
Sesudah percobaan												
Tebal Patahan (mm)	8.2	8.2	8.1	8	8.1	8.2	8	8.4	8.4	8	8.2	8
Tebal sisa patahan (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.1.1 Data *Impact Strength* Hasil Pengujian Impak

Impact strength merupakan energi yang diserap oleh benda uji hingga patah, untuk menghitung *impact strength* digunakan persamaan:

$$IS = \frac{\text{Energi Impak}}{\text{Luas patahan}}$$

Dimana:

IS= *Impact strength* (Kpm/mm²)

A= Luas Patahan benda uji (mm²)

Untuk mendapatkan luas patahan pada benda uji digunakan persamaan:

A= Tebal patahan x lebar benda uji

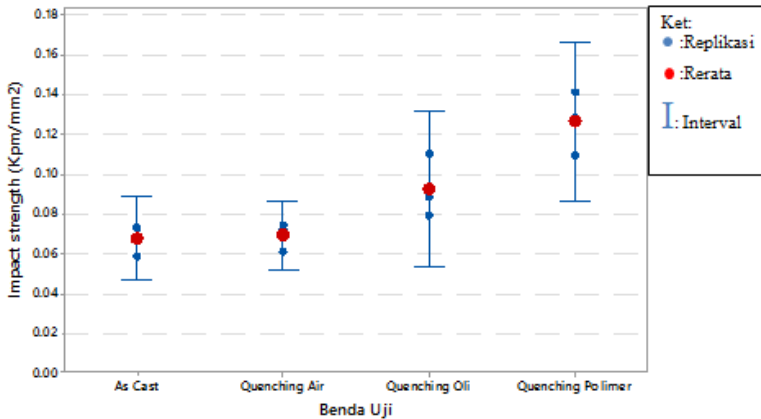
Hasil perhitungan luas patahan dan *impact strength* dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Nilai *Impact strength* benda uji

Replikasi Ke-	Energi Impak (Kpm)				Luas Patahan (mm ²)				Impact strength (Kpm/mm ²)			
	As cast	Media Quenching			As cast	Media Quenching			As cast	Media Quenching		
		Air	Oli	Polimer		Air	Oli	Polimer		Air	Oli	Polimer
1	5	6	9	7	86.1	82.82	82.4	80.8	0.058	0.074	0.088	0.109
2	6	5	11	9	83.64	82.82	82.62	81.81	0.072	0.061	0.11	0.128
3	6	6	12	6	82.62	81.81	82.82	82.82	0.073	0.072	0.079	0.141
Rerata									0.067	0.069	0.092	0.126

4.1.2 Pembahasan Data *Impact Strength* Hasil Pengujian Impak

Dalam mempermudah membaca data, maka data nilai *impact strength* pada tabel 4.2 dituangkan dalam bentuk grafik pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik pengaruh media *quenching* terhadap *impact strength*

Nilai *impact strength* menunjukkan seberapa tangguh material untuk menahan beban kejut, semakin besar nilai *impact strength* maka semakin tangguh juga material tersebut untuk menahan beban kejut. Grafik gambar 4.2 menunjukkan nilai *impact strength* replikasi dan *impact strength* rerata pada tiap benda uji. Benda uji *as cast* memiliki nilai *impact strength* rerata sebesar 0.067 Kpm/mm². Pada benda uji yang telah dilakukan proses perlakuan panas *Interrupted quenching* menunjukkan nilai *impact strength* meningkat mengikuti menurunnya *heat capacity* media *quenching* yang digunakan. Benda uji yang menggunakan media *quenching* air ($C_p=4.18 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$) memiliki nilai *impact strength* rerata sebesar 0.069 Kpm/mm² dengan peningkatan nilai *impact strength* sebesar 3% dari benda uji *as cast*. Benda uji yang menggunakan media *quenching* oli ($C_p=1.8 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$) memiliki nilai *impact strength* rerata sebesar 0.092 Kpm/mm² dengan

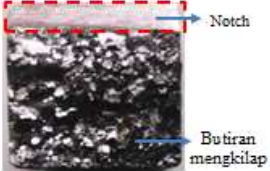
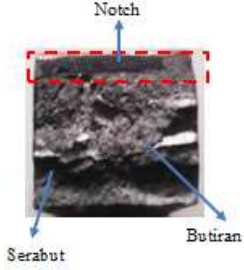
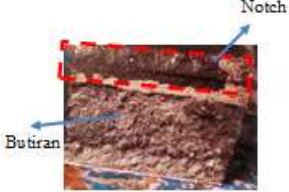
peningkatan nilai *impact strength* sebesar 37% dari benda uji *as cast*. Benda uji yang menggunakan media *quenching* polimer ($C_p=1-5 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$) memiliki nilai *impact strength* rerata sebesar 0.126 Kpm/mm^2 dengan peningkatan nilai *impact strength* sebesar 88% dari benda uji *as cast*. Dari nilai *impact strength* menunjukkan bahwa benda uji yang menggunakan media *quenching* polimer paling tangguh untuk menahan beban kejut, sedangkan benda uji *as cast* paling lemah untuk menahan beban kejut.

Untuk menunjukkan seberapa signifikan pengaruh media *quenching* terhadap nilai *impact strength*, maka data nilai *impact strength* pada tabel 4.2 di input-kan pada *software* minitab 17.0. Metode statistik yang digunakan adalah ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan nilai tingkat kepercayaan sebesar 95% (lampiran 1). Nilai tingkat signifikan (*P-value*) yang didapatkan pada *software* minitab adalah 0.1%. Karena nilai tingkat signifikan kurang dari 5%, maka media *quenching* yang digunakan berpengaruh secara signifikan terhadap nilai *impact strength* benda uji.

4.1.3 Pola Patahan Hasil Pengujian Impak

Pola patahan (*fractography*) merupakan data yang diberikan dari hasil pengujian impak selain nilai *impact strength*. Patahan pada suatu material dikategorikan sebagai patah getas atau ulet dilihat dari profil patahan yang terbentuk pada permukaan. Tabel 4.3 menunjukkan pengaruh media *quenching* terhadap pola patahan yang terbentuk setelah pengujian impak.

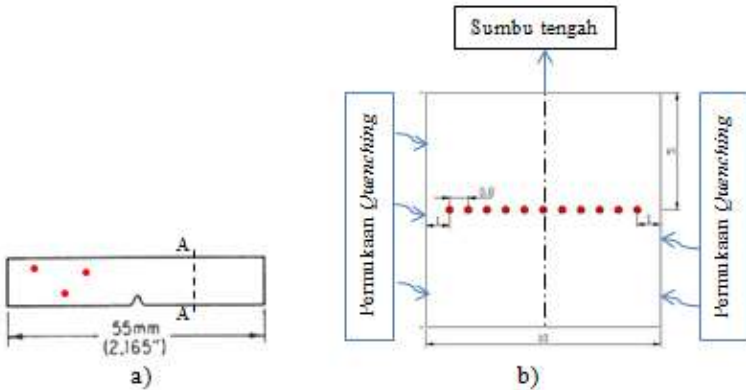
Tabel 4.3 Pengaruh media *quenching* terhadap pola patahan

Benda Uji	Gambar	Keterangan
<i>As cast</i>		<p>Pada benda uji <i>as cast</i>, didapatkan permukaan yang kasar dan butiran kristal besar mengkilap. Hal ini disebabkan karena ikatan antar atom pada benda uji mengalami keregangan akibat pendinginan secara lambat melalui proses pengecoran, sehingga saat pengujian impak mengalami patah getas.</p>
Media <i>quenching</i> air		<p>Pada benda uji yang menggunakan media <i>quenching</i> air, didapatkan permukaan yang halus dan serabut berwarna terang. Permukaan yang halus memiliki butiran kristal yang kecil, butiran kristal yang kecil akan memperluas batas butir, bila diberi beban kejut maka pertemuan batas butir akan membuat beban yang diterima tidak merata, akibatnya benda uji tidak mengalami deformasi terlebih dahulu sebelum patah. Adanya serabut menunjukkan terjadinya mekanisme pergeseran bidang kristal. Jumlah butiran lebih banyak dari serabut, sehingga dapat disimpulkan bahwa benda uji ini mengalami patah getas.</p>
Media <i>quenching</i> oli		<p>Pada benda uji yang menggunakan media <i>quenching</i> oli, didapatkan permukaan yang halus dan butiran berwarna gelap. Permukaan yang halus memiliki butiran kristal yang kecil, butiran kristal yang kecil akan memperluas batas butir, bila diberi beban kejut maka pertemuan batas butir akan membuat beban yang diterima tidak merata, akibatnya benda uji tidak mengalami deformasi terlebih dahulu sebelum patah. Dapat disimpulkan bahwa benda uji ini mengalami patah getas.</p>

Media <i>quenching</i> polimer	 <p>The micrograph shows a cross-section of a polymer specimen. At the top, there is a 'Notch' indicated by a red dashed line and an upward arrow. Below the notch, the material is divided into two regions: 'Serabut' (fibrous) on the left and 'Butiran' (crystalline) on the right. The 'Serabut' region shows a more uniform, fibrous texture, while the 'Butiran' region shows a more granular, crystalline texture.</p>	<p>Pada benda uji yang menggunakan media polimer, didapatkan permukaan yang halus dan serabut yang berwarna gelap. Permukaan yang halus memiliki butiran kristal yang kecil, butiran kristal yang kecil akan memperluas batas butir, bila diberi beban kejut maka pertemuan batas butir akan membuat beban yang diterima tidak merata, akibatnya benda uji tidak mengalami deformasi terlebih dahulu sebelum patah. Adanya serabut menunjukkan terjadinya mekanisme pergeseran bidang kristal. Jumlah butiran lebih banyak dari serabut, sehingga dapat disimpulkan bahwa benda uji ini mengalami patah getas.</p>
--------------------------------	---	--

4.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap deformasi lokal, dalam hal ini ketahanan terhadap indentasi. Benda uji hasil pengujian impak dipotong dengan ukuran 10 mm x 10 mm x 13 mm dan kemudian dilakukan *mounting*. Pengujian dilakukan sebanyak 3 titik pada permukaan benda uji secara acak, sedangkan pada penampang dilakukan pengujian sebanyak 11 titik dengan jarak tiap titik 0.8 mm dan jarak dari permukaan *quenching* adalah 1 mm (gambar 4.3).



Gambar 4.3 Sketsa lokasi pengujian kekerasan

a) Pada permukaan benda uji; b) Pada penampang A-A benda uji

Pengujian kekerasan menggunakan metode *vickers* dengan mesin *hardness* tipe *wolpert*, didapatkan panjang diagonal d_1 dan d_2 melalui *measuring microscope*. Beban indentasi yang digunakan adalah 10 Kg, untuk mendapatkan nilai kekerasan digunakan persamaan:

$$VHN = \frac{(1.8544)P}{d^2}$$

Dimana:

P = Beban indentasi (Kg)

d = Panjang diagonal rerata (mm)

4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan pada Permukaan Benda Uji

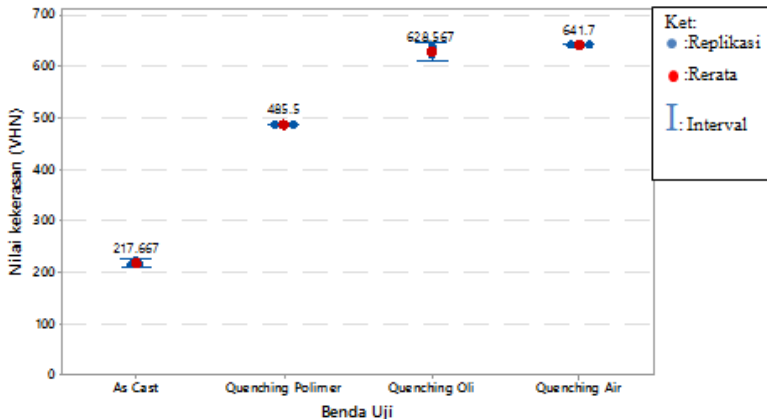
Pengujian kekerasan pada permukaan benda uji dilakukan dengan 3 replikasi setiap variasi media *quenching*, data hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil eksperimen pengujian kekerasan pada permukaan benda uji

Benda Uji	Repl.		Titik 1	Titik 2	Titik 3
As cast	1	d ₁	0.30	0.30	0.30
		d ₂	0.30	0.30	0.30
		d	0.3	0.3	0.3
		VHN	206	206	206
	2	d ₁	0.30	0.30	0.30
		d ₂	0.29	0.29	0.29
		d	0.295	0.295	0.295
		VHN	213.1	213.1	213.1
	3	d ₁	0.29	0.29	0.28
		d ₂	0.28	0.28	0.27
		d	0.285	0.285	0.275
		VHN	228.3	228.3	245.2
	VHN rerata		215.8	215.8	221.4
Media Quenching Air	1	d ₁	0.17	0.17	0.17
		d ₂	0.17	0.17	0.17
		d	0.17	0.17	0.17
		VHN	641.7	641.7	641.7
	2	d ₁	0.17	0.17	0.17
		d ₂	0.17	0.17	0.17
		d	0.17	0.17	0.17
		VHN	641.7	641.7	641.7
	3	d ₁	0.17	0.17	0.17
		d ₂	0.17	0.17	0.17
		d	0.17	0.17	0.17
		VHN	641.7	641.7	641.7
	VHN rerata		641.7	641.7	641.7
Benda Uji	Repl.		Titik 1	Titik 2	Titik 3
Media Quenching Polimer	1	d ₁	0.2	0.2	0.2
		d ₂	0.2	0.2	0.2
		d	0.2	0.2	0.2
		VHN	463.6	463.6	463.6
	2	d ₁	0.18	0.18	0.18
		d ₂	0.18	0.18	0.18
		d	0.18	0.18	0.18
		VHN	572.3	572.3	572.3
	3	d ₁	0.21	0.21	0.21
		d ₂	0.21	0.21	0.21
		d	0.21	0.21	0.21
		VHN	420.5	420.5	420.5
	VHN rerata		485.5	485.5	485.5
Media Quenching Oli	1	d ₁	0.305	0.305	0.305
		d ₂	0.295	0.295	0.305
		d	0.3	0.3	0.305
		VHN	618	618	597.9
	2	d ₁	0.3	0.3	0.3
		d ₂	0.315	0.3	0.3
		d	0.3075	0.3	0.3
		VHN	588.2	618	618
	3	d ₁	0.285	0.285	0.295
		d ₂	0.29	0.29	0.29
		d	0.2875	0.2875	0.2925
		VHN	672.9	672.9	650.1
	VHN rerata		626.4	636.3	623

4.2.2 Pembahasan Data Hasil Pengujian Kekerasan pada Permukaan Benda Uji

Dalam mempermudah membaca data, maka data nilai *impact strength* pada tabel 4.4 dituangkan dalam bentuk grafik pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik pengaruh media *quenching* terhadap nilai kekerasan pada permukaan benda uji

Grafik gambar 4.4 menunjukkan nilai kekerasan pada tiap titik dan nilai kekerasan rerata pada tiap benda uji. Benda uji *as cast* memiliki nilai kekerasan rerata sebesar 217.67 VHN. Pada benda uji yang telah dilakukan proses perlakuan panas *Interrupted quenching* menunjukkan nilai kekerasan pada permukaan meningkat mengikuti meningkatnya *heat capacity* media *quenching* yang digunakan. Benda uji yang menggunakan media *quenching* polimer ($C_p=1.5 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$) memiliki nilai kekerasan rerata sebesar 485.5 VHN dengan peningkatan nilai kekerasan sebesar 123% dari benda uji *as cast*. Benda uji yang menggunakan media *quenching* oli ($C_p=1.8 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$) memiliki nilai kekerasan rerata sebesar 628.57 VHN dengan peningkatan nilai kekerasan sebesar 188% dari benda uji *as cast*. Benda uji yang menggunakan media *quenching* air ($C_p=4.18 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$) memiliki nilai kekerasan rerata sebesar 641.7 VHN dengan peningkatan nilai kekerasan sebesar 195% dari benda uji *as cast*. Dari nilai kekerasan menunjukkan bahwa benda uji yang menggunakan media *quenching* air paling keras, sedangkan benda uji *as cast* adalah yang paling lunak.

Untuk menunjukkan seberapa signifikan pengaruh media *quenching* terhadap nilai kekerasan pada permukaan, maka data nilai kekerasan pada tabel 4.4 di *input*-kan pada *software* minitab 17.0. Metode statistik yang digunakan adalah ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan nilai tingkat kepercayaan sebesar 95% (lampiran 2). Nilai tingkat signifikan (*P-value*) yang didapatkan pada *software* minitab adalah 0%. Karena nilai tingkat signifikan kurang dari 5%, maka media *quenching* yang digunakan berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan pada permukaan benda uji.

4.2.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan pada Penampang Benda Uji

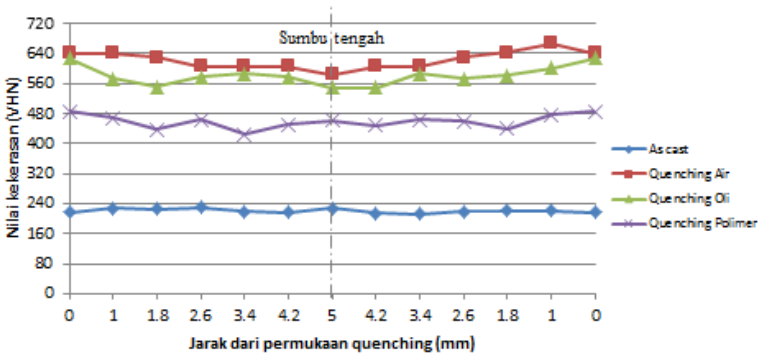
Pengujian kekerasan pada penampang dilakukan sepanjang penampang antar permukaan *quenching*, jarak 5 mm dari permukaan *quenching* merupakan sumbu tengahnya. Data hasil pengujian kekerasan pada penampang benda uji ditunjukkan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil eksperimen pengujian kekerasan pada penampang benda uji

Benda Uji	Repl.		Jarak dari permukaan <i>quenching</i> (mm)											
			1.0	1.8	2.6	3.4	4.2	5.0	4.2	3.4	2.6	1.8	1.0	
As cast	1	d ₁	0.30	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	
		d ₂	0.29	0.29	0.27	0.30	0.29	0.28	0.29	0.30	0.28	0.29	0.28	
		d	0.30	0.29	0.29	0.30	0.30	0.29	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	
		VHN	213.1	220.5	228.3	206.0	213.1	220.5	213.1	206.0	220.5	220.5	228.3	
		VHN rerata	213.1	220.5	228.3	206.0	213.1	220.5	213.1	206.0	220.5	220.5	228.3	
	2	d ₁	0.29	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
		d ₂	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
		d	0.29	0.30	0.29	0.30	0.30	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
		VHN	220.5	213.1	220.5	213.1	213.1	220.5	206.0	213.1	213.1	206.0	206.0	
		VHN rerata	220.5	213.1	220.5	213.1	213.1	220.5	206.0	213.1	213.1	206.0	206.0	
	3	d ₁	0.27	0.28	0.28	0.28	0.29	0.28	0.28	0.29	0.29	0.28	0.29	
		d ₂	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.27	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28	
		d	0.27	0.28	0.28	0.28	0.29	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.29	
		VHN	234.4	245.2	245.2	236.5	228.3	245.2	228.3	220.5	228.3	236.5	228.3	
		VHN rerata	229.3	226.3	231.3	218.6	218.2	228.7	215.8	213.2	220.6	221.0	220.9	
Media <i>quenching</i> Air	1	d ₁	0.17	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	
		d ₂	0.17	0.17	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	
		d	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	
		VHN	641.7	641.7	605.5	605.5	605.5	605.5	605.5	641.7	641.7	681.1	681.1	
		VHN rerata	641.7	641.7	605.5	605.5	605.5	605.5	605.5	641.7	641.7	681.1	681.1	
	2	d ₁	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	
		d ₂	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17	0.17	0.16	
		d	0.17	0.18	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	
		VHN	641.7	605.5	641.7	605.5	605.5	572.3	605.5	572.3	641.7	641.7	681.1	
		VHN rerata	641.7	605.5	641.7	605.5	605.5	572.3	605.5	572.3	641.7	641.7	681.1	
	3	d ₁	0.17	0.17	0.18	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	
		d ₂	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	
		d	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	
		VHN	641.7	641.7	572.3	605.5	605.5	572.3	605.5	605.5	605.5	605.5	641.7	
		VHN rerata	641.7	629.6	606.5	605.5	605.5	583.4	605.5	606.5	629.6	642.8	668.0	
Benda Uji	Repl.		Jarak dari permukaan <i>quenching</i> (mm)											
			1.0	1.8	2.6	3.4	4.2	5.0	4.2	3.4	2.6	1.8	1.0	
	Media <i>quenching</i> Polymer	1	d ₁	0.21	0.21	0.21	0.23	0.21	0.21	0.22	0.21	0.22	0.22	0.23
			d ₂	0.20	0.22	0.21	0.23	0.20	0.21	0.20	0.22	0.22	0.23	0.20
			d	0.21	0.22	0.21	0.23	0.21	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23	0.21
			VHN	441.3	401.2	420.5	350.5	441.3	420.5	420.5	401.2	383.1	366.3	441.3
			VHN rerata	441.3	401.2	420.5	350.5	441.3	420.5	420.5	401.2	383.1	366.3	441.3
		2	d ₁	0.18	0.19	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18
			d ₂	0.19	0.19	0.18	0.18	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
			d	0.19	0.19	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18
			VHN	541.8	513.7	572.3	541.8	513.7	541.8	541.8	572.3	572.3	572.3	572.3
			VHN rerata	541.8	513.7	572.3	541.8	513.7	541.8	541.8	572.3	572.3	572.3	572.3
		3	d ₁	0.21	0.22	0.22	0.23	0.21	0.21	0.22	0.21	0.21	0.22	0.21
			d ₂	0.21	0.21	0.21	0.21	0.22	0.21	0.22	0.21	0.21	0.22	0.21
			d	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.22	0.21	0.21	0.22	0.21
VHN			420.5	401.2	401.2	383.1	401.2	420.5	383.1	420.5	420.5	383.1	420.5	
VHN rerata			467.9	438.7	464.7	425.2	452.0	460.9	448.5	464.7	458.7	440.6	478.0	
Media <i>quenching</i> Oli	1	d ₁	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.32	0.32	0.31	0.32	0.32	0.30	
		d ₂	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	0.32	0.31	
		d	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	0.32	0.30	
		VHN	598.0	618.1	618.1	618.1	598.0	569.7	569.7	598.0	578.9	560.7	608.0	
		VHN rerata	598.0	618.1	618.1	618.1	598.0	569.7	569.7	598.0	578.9	560.7	608.0	
	2	d ₁	0.31	0.32	0.31	0.32	0.33	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32	0.33	
		d ₂	0.33	0.33	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.32	0.30	0.30	
		d	0.32	0.32	0.32	0.32	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	0.31	0.32	
		VHN	551.9	534.9	560.7	543.3	518.7	510.9	534.9	534.9	551.9	578.9	560.7	
		VHN rerata	551.9	534.9	560.7	543.3	518.7	510.9	534.9	534.9	551.9	578.9	560.7	
	3	d ₁	0.30	0.34	0.33	0.32	0.31	0.33	0.33	0.30	0.33	0.31	0.31	
		d ₂	0.33	0.33	0.31	0.30	0.29	0.30	0.32	0.30	0.29	0.30	0.28	
		d	0.31	0.33	0.32	0.31	0.30	0.31	0.32	0.30	0.31	0.30	0.30	
		VHN	569.7	503.2	551.9	598.0	618.1	569.7	543.3	628.6	588.3	608.0	639.3	
		VHN rerata	573.2	552.1	576.9	586.5	578.3	550.1	549.3	587.2	573.0	582.5	602.6	

4.2.4 Pembahasan Data Hasil Pengujian Kekerasan pada Penampang Benda Uji

Dalam mempermudah membaca data, maka nilai kekerasan rerata pada tabel 4.5 dituangkan dalam grafik pada gambar 4.5. Nilai kekerasan pada jarak 0 mm dari permukaan *quenching* diambil dari data tabel 4.4.



Gambar 4.5 Grafik pengaruh jarak dari permukaan *quenching* terhadap nilai kekerasan pada penampang benda uji

Grafik gambar 4.5 menunjukkan distribusi nilai kekerasan rerata pada tiap titik pada penampang benda uji. Benda uji *as cast* memiliki kedalaman pengerasan yang tembus hingga bagian tengah penampang benda uji. Pada benda uji yang telah dilakukan proses perlakuan panas *Interrupted quenching* menunjukkan nilai kekerasan pada penampang meningkat mengikuti meningkatnya *heat capacity* media *quenching* yang digunakan. Benda uji yang menggunakan media *quenching* air ($C_p=4.18 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$) memiliki nilai kedalaman pengerasan yang berjarak 2.6 mm dari permukaan *quenching*. Benda uji yang menggunakan media *quenching* oli ($C_p=1.8 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$) memiliki kedalaman pengerasan yang berjarak 1 mm dari permukaan *quenching*. Benda uji yang menggunakan media *quenching* polimer ($C_p=1.5 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$) memiliki kedalaman pengerasan yang tembus hingga bagian penampang benda uji. Dari data hasil pengujian kekerasan pada penampang dapat disimpulkan bahwa benda uji yang

menggunakan media *quenching* air memiliki peningkatan kekerasan yang paling tinggi dengan kedalaman pengerasannya berjarak 2.6 mm dari permukaan *quenching*.

Untuk menunjukkan seberapa signifikan pengaruh media *quenching* dan jarak dari permukaan *quenching* terhadap nilai kekerasan pada penampang, maka data nilai kekerasan pada tabel 4.4 di *input*-kan pada *software* minitab 17.0. Metode statistik yang digunakan adalah ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan nilai tingkat kepercayaan sebesar 95% (lampiran 3). Nilai tingkat signifikan (*P-value*) yang didapatkan pada *software* minitab untuk pengaruh media *quenching* adalah 0%, untuk pengaruh jarak dari permukaan *quenching* adalah 0.8%. Karena nilai tingkat signifikan kurang dari 5%, maka media *quenching* dan jarak dari permukaan *quenching* berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan pada penampang benda uji.

4.3 Pengujian Keausan

Pengujian keausan digunakan untuk mengetahui ketahanan material terhadap gesekan antar permukaan padatan. Pengujian keausan menggunakan mesin tribometer tipe *pin on disk* pada temperatur kamar. Gambar 4.6a) merupakan sketsa dimensi standar benda uji keausan dan gambar 4.6b) merupakan benda uji keausan setelah proses *machining*.



Gambar 4.6 Benda uji standar pengujian impak
a) Sketsa dimensi standar; b) Setelah proses *machining*

Dalam melakukan eksperimen, dilakukan 3 replikasi pada setiap variasi media *quenching*. Data hasil eksperimen pengujian keausan ditunjukkan pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil eksperimen pengujian keausan

Benda Uji		Replikasi Ke-	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Perubahan Massa (gr)	
As cast		1	17.3141	17.3138	0.0003	
		2	17.3801	17.3795	0.0006	
		3	18.0231	18.0216	0.0015	
Media Quenching		Air	1	17.3249	17.3239	0.001
			2	17.6668	17.6662	0.0006
			3	16.6616	16.6602	0.0014
		Polimer	1	17.2856	17.2846	0.001
			2	17.0247	17.0232	0.0015
			3	17.4054	17.4042	0.0012
		Oli	1	16.2188	16.2170	0.0018
			2	16.7232	16.7220	0.0012
			3	16.7471	16.7465	0.0006

4.3.1 Data Laju Keausan pada Benda Uji

Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan antar permukaan padatan. Laju keausan menyatakan seberapa banyak volume yang hilang pada pembebanan 1 N sepanjang 1 m. Laju keausan dapat dihitung dengan persamaan:

$$K = \frac{\Delta V}{F \cdot L}$$

- Dimana: K = laju keausan (mm³/N.m)
- ΔV = perubahan volume (mm³)
- F = Beban (58.86 N)
- L = *sliding distance* (1000 m)

Untuk perubahan volume dihitung dengan persamaan:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

Dimana: ΔV = perubahan volume (mm³)

Δm = perubahan massa (gram)

ρ = massa jenis baja (7.85 gram/mm³)

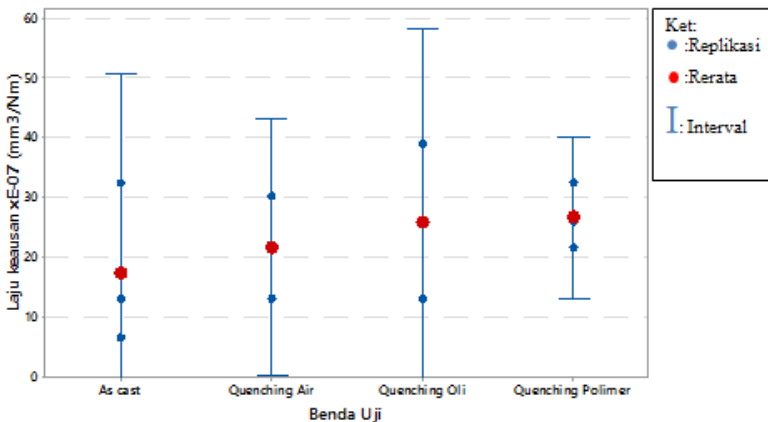
Hasil perhitungan perubahan volume dan laju keausan dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Perubahan volume dan laju keausan benda uji

Replikasi Ke-	Perubahan volume (mm ³)				Laju keausan x10 ⁻⁷ (mm ³ /Nm)			
	As cast	Media <i>Quenching</i>			As cast	Media <i>Quenching</i>		
		Air	Polimer	Oli		Air	Polimer	Oli
1	0.03822	0.12739	0.12739	0.2293	6.49	21.6	21.6	39
2	0.07643	0.07643	0.19108	0.15287	13	13	32.5	26
3	0.19108	0.17834	0.15287	0.07643	32.5	30.3	26	13
Rerata					17.3	21.6	26.7	26

4.3.2 Pembahasan Data Laju Keausan pada Benda Uji

Dalam mempermudah membaca data, maka data nilai laju keausan pada tabel 4.7 tuangkan menjadi bentuk grafik pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik pengaruh media *quenching* terhadap laju keausan benda uji





Grafik gambar 4.7 menunjukkan pengaruh media *quenching* terhadap laju keausan pada benda uji. Benda uji *as cast* memiliki laju keausan rerata sebesar $17.3\text{E-}07 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Pada benda uji yang telah dilakukan proses perlakuan panas *Interrupted quenching* menunjukkan laju keausan meningkat mengikuti menurunnya *heat capacity* media *quenching* yang digunakan. Benda uji yang menggunakan media *quenching* air ($C_p=4.18 \text{ KJ/Kg.}^0\text{C}$) memiliki laju keausan rerata sebesar $21.6\text{E-}07 \text{ mm}^3/\text{Nm}$, dengan peningkatan laju keausan sebesar 25% dari benda uji *as cast*. Benda uji yang menggunakan media *quenching* oli ($C_p=1.8 \text{ KJ/Kg.}^0\text{C}$) memiliki memiliki laju keausan rerata sebesar $26\text{E-}07 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ dengan peningkatan laju keausan sebesar 50% dari benda uji *as cast*. Benda uji yang menggunakan media *quenching* polimer ($C_p=1-5 \text{ KJ/Kg.}^0\text{C}$) memiliki laju keausan rerata sebesar $26.7\text{E-}07 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ dengan peningkatan laju keausan sebesar 54% dari benda uji *as cast*. Dari data laju keausan, disimpulkan bahwa *benda uji as cast* memiliki laju keausan yang paling kecil.

Untuk menunjukkan seberapa signifikan pengaruh media *quenching* terhadap laju keausan pada benda uji, maka data laju keausan pada tabel 4.7 di *input*-kan pada *software* minitab 17.0. Metode statistik yang digunakan adalah ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan nilai tingkat kepercayaan sebesar 95% (lampiran 4). Nilai tingkat signifikan (*P-value*) yang didapatkan pada *software* minitab adalah 69.5%. Karena nilai tingkat signifikan lebih dari 5%, maka media *quenching* yang digunakan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap laju keausan benda uji.

4.3.3 Foto Permukaan Benda Uji Setelah Pengujian Keausan

Foto permukaan benda uji merupakan data yang dapat digunakan untuk mengevaluasi hasil pengujian keausan yang digunakan pada penelitian ini (Tabel 4.8).

Tabel 4.8 Foto permukaan benda uji setelah pengujian keausan

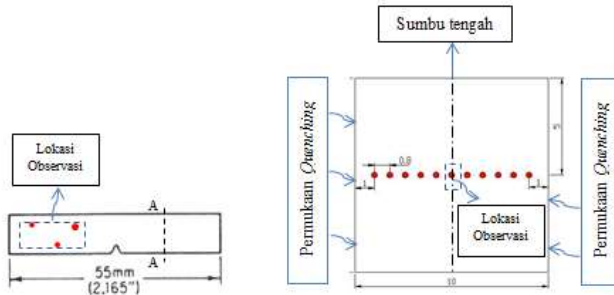
Benda Uji	Foto permukaan	Keterangan
<i>As Cast</i>	<p>Permukaan mengalami aus</p> 	<p>Pada bagian permukaan yang mengalami aus, secara visual terlihat lebih gelap, secara profil lebih halus dari pada bagian permukaan yang tidak mengalami aus. Bagian permukaan yang aus berada pada bagian yang hampir sama pada setiap replikasi.</p>
<i>Quenching Air</i>	<p>Permukaan mengalami aus</p> 	<p>Bagian permukaan yang mengalami aus pada benda uji as cast terkonsentrasi pada sebagian luar. Pada benda uji quenching air permukaan yang mengalami aus berada pada sekeliling bagian luar. Pada benda uji quenching oli dan polimer permukaan yang mengalami aus terkonsentrasi pada bagian luar. Bagian yang berwarna gelap pada pusat permukaan merupakan produk korosi, bukan bagian yang mengalami aus.</p>
<i>Quenching Oli</i>	<p>Permukaan mengalami aus</p> 	
<i>Quenching Polimer</i>	<p>Permukaan mengalami aus</p> 	

Bagian permukaan yang mengalami keausan tidak terjadi pada seluruh permukaan benda uji, hal ini terjadi karena adanya konsentrasi tegangan yang tidak merata saat pengujian keausan. Konsentrasi tegangan yang tidak merata menghasilkan keausan yang tidak merata, hasil pengujian pada kondisi seperti ini seharusnya tidak digunakan sebagai data yang valid [11]. Jadi, hasil pembahasan dari sub bab 4.3.2 tidak bisa menjadi hasil yang valid pada penelitian ini, dan pengujian keausan mesin tribometer

tipe *pin on disk* yang digunakan pada penelitian ini perlu dievaluasi

4.4 Observasi Struktur Mikro

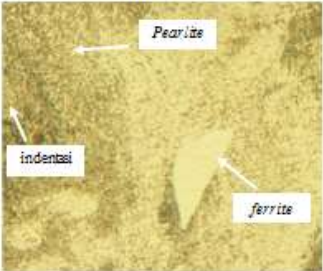
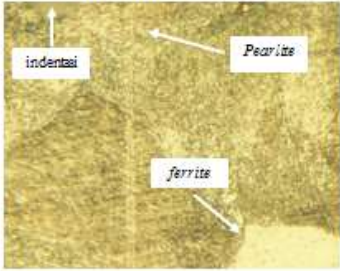
Observasi struktur mikro bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk dalam mempengaruhi sifat mekanik. Observasi dilakukan pada permukaan dan penampang hasil pengujian kekerasan. Observasi struktur mikro pada penampang dilakukan sepanjang titik indentasi hasil pengujian kekerasan, karena struktur mikro sepanjang penampang hampir menyerupai satu sama lain, maka di ambil struktur mikro pada bagian tengah penampang (gambar 4.8).





Gambar 4.8 Sketsa lokasi observasi struktur mikro

a) Pada permukaan benda uji; b) Pada penampang A-A benda uji

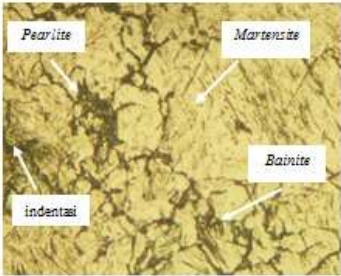

Tabel 4.9 Observasi struktur mikro pada benda uji *as cast*

Perbesaran mikroskop (1000X)	
Permukaan	Jarak 5 mm dari permukaan <i>quenching</i>
	
<p>Gambar di atas merupakan foto struktur mikro benda uji <i>as cast</i>. Pada permukaan dan jarak 5 mm dari permukaan <i>quenching</i> terbentuk struktur mikro <i>ferrite</i> yang berwarna terang dan <i>pearlite</i> yang berbentuk lamel. Hampir tidak ada perbedaan struktur mikro antara permukaan dan jarak 5 mm dari permukaan <i>quenching</i>.</p>	

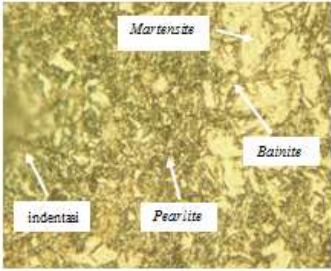
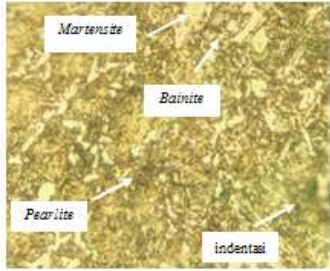
Tabel 4.10 Observasi struktur mikro pada benda uji media *quenching* air

Perbesaran mikroskop (1000X)	
Permukaan	Jarak 5 mm dari permukaan
	
<p>Pada benda uji yang menggunakan media air terbentuk struktur mikro <i>pearlite</i> berwarna gelap yang mengisi batas butir <i>austenite</i>, <i>bainite</i> yang memiliki serabut berwarna gelap, dan <i>martensite</i> yang berupa <i>matrix</i> berwarna terang. Pada permukaan, <i>martensite</i> lebih merata dan jumlah <i>bainite</i> maupun <i>pearlite</i> lebih sedikit dari pada jarak 5 mm dari permukaan <i>quenching</i>.</p>	

Tabel 4.11 Observasi struktur mikro pada benda uji media *quenching* oli

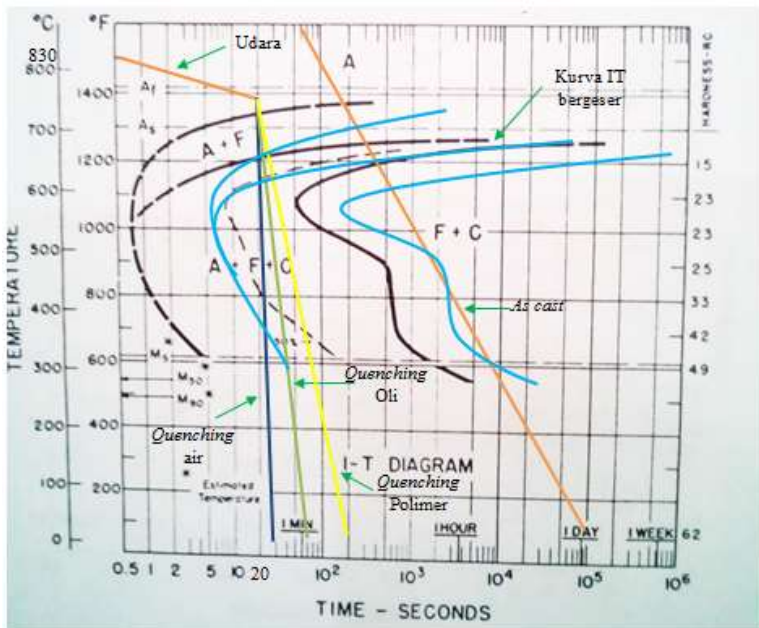
Perbesaran mikroskop (1000X)	
Permukaan	Jarak 5 mm dari permukaan <i>quenching</i>
 <p>Pada permukaan benda uji yang menggunakan media oli, terlihat struktur mikro pearlite (gelap), bainite (serabut gelap), dan martensite (matrix terang). Terdapat juga indentasi.</p>	 <p>Pada jarak 5 mm dari permukaan benda uji yang menggunakan media oli, terlihat struktur mikro pearlite, bainite, dan martensite. Terdapat juga indentasi.</p>
<p>Pada benda uji yang menggunakan media oli terbentuk struktur mikro <i>pearlite</i> berwarna gelap yang mengisi batas butir <i>austenite</i>, <i>bainite</i> yang memiliki serabut berwarna gelap, dan <i>martensite</i> yang berupa <i>matrix</i> berwarna terang. Pada permukaan, <i>martensite matrix</i> lebih merata dari pada jarak 5 mm dari permukaan <i>quenching</i>. Dibandingkan dengan media air, jumlah <i>martensite matrix</i> lebih sedikit, jumlah <i>pearlite</i>, dan <i>bainite</i> yang terbentuk pada media oli lebih banyak.</p>	

Tabel 4.12 Observasi struktur mikro pada benda uji media *quenching* polimer

Perbesaran mikroskop (1000X)	
Permukaan	Jarak 5 mm dari permukaan <i>quenching</i>
 <p>Pada permukaan benda uji yang menggunakan media polimer, terlihat struktur mikro martensite, bainite, dan pearlite. Terdapat juga indentasi.</p>	 <p>Pada jarak 5 mm dari permukaan benda uji yang menggunakan media polimer, terlihat struktur mikro martensite, bainite, dan pearlite. Terdapat juga indentasi.</p>
<p>Pada benda uji yang menggunakan media polimer terbentuk struktur mikro <i>pearlite</i> berwarna gelap yang mengisi batas butir <i>austenite</i>, <i>bainite</i> yang berbentuk menyerupai jarum tak beraturan, dan <i>martensite</i> yang berupa <i>matrix</i> berwarna terang. Pada jarak 5 mm dari permukaan <i>quenching</i>, <i>pearlite</i> lebih tersebar merata dari pada di permukaan. Dibandingkan dengan media oli, jumlah <i>pearlite</i> dan <i>bainite</i> yang terbentuk pada media polimer lebih banyak.</p>	

4.5 Hubungan Media *Quenching* Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik

Media *quenching* yang digunakan pada penelitian ini memiliki nilai *heat capacity* yang berbeda satu sama lain. *Heat capacity* (C_p) suatu fluida menyatakan seberapa besar panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1°C zat seberat 1 Kg. Semakin tinggi nilai *heat capacity* suatu fluida, maka laju pendinginan yang diberikan pada benda uji akan semakin cepat. Media *quenching* air memiliki *heat capacity* sebesar $4.18 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$, media *quenching* oli memiliki *heat capacity* sebesar $1.8 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$, dan media *quenching* polimer memiliki *heat capacity* sebesar $1-5 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$. Nilai *heat capacity* media *quenching* digunakan untuk memprediksi kurva laju pendinginan pada IT diagram yang ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Diagram IT baja AISI 1340 dengan kurva laju pendinginan

Proses pembuatan *friction wedge* (benda uji *as cast*) dilakukan melalui proses pengecoran (*casting*) dengan pendinginan secara lambat di udara, dari kondisi cair sampai membeku pada temperatur kamar. Kurva laju pendinginan *as cast* ditunjukkan pada gambar 4.9, struktur mikro yang akan terbentuk saat temperatur kamar tercapai adalah *ferrite* dan *pearlite*, struktur mikro ini sesuai dengan hasil observasi aktual pada benda uji *as cast*. Nilai kekerasan struktur mikro *pearlite* menurut referensi [8] berkisar 15 HRC atau 220 VHN, nilai kekerasan ini sesuai dengan hasil pengujian kekerasan yang memiliki range 213-229 VHN.

Proses perlakuan panas *interrupted quenching* merupakan proses *quenching* dengan pendinginan lambat di udara sebelum di celupkan pada media *quenching*, hal ini bertujuan untuk membentuk butiran *austenite* yang lebih besar. Butiran *austenite* yang lebih besar akan menggeser kurva diagram IT ke kanan, karena pada butiran *austenite* yang lebih besar difusi yang terjadi saat transformasi *austenite* menjadi *pearlite* membutuhkan waktu yang lebih lama pada laju transformasi yang sama, hal ini diakibatkan oleh jarak butiran yang lebih lebar sehingga pergerakan atom pada saat proses difusi membutuhkan waktu yang lebih lama [8].

Kurva laju pendinginan media *quenching* air ditunjukkan pada gambar 4.9, struktur mikro yang akan terbentuk saat temperatur kamar tercapai adalah *martensite matrix*, *pearlite*, dan *bainite*, struktur mikro ini sesuai dengan hasil observasi aktual pada benda uji media *quenching* air. Nilai kekerasan struktur mikro *martensite* berkisar 50-60 HRC atau 513-697 VHN [8], nilai kekerasan ini sesuai dengan hasil pengujian kekerasan yang memiliki range 583-668 VHN. Struktur mikro *martensite* memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi, namun *impact strength* yang rendah, hal ini sesuai dengan data hasil pengujian impact yang telah dilakukan.

Heat capacity yang lebih kecil akan menghasilkan laju pendinginan pada benda uji yang lebih lambat. Akibatnya jumlah

struktur mikro *martensite* menurun seiring dengan melambatnya laju pendinginan, jumlah *martensite* turun akan menurunkan nilai kekerasan dan ketahanan aus tetapi akan meningkatkan *impact strength*. Hal ini sesuai dengan data yang diperoleh pada pengujian yang telah dilakukan. Pada media *quenching* polimer yang memiliki nilai C_p sebesar 1-5 KJ/Kg. $^{\circ}\text{C}$, nilai *impact strength* dan laju keausannya lebih besar dari pada media *quenching* oli yang memiliki nilai C_p sebesar 1.8 KJ/Kg. $^{\circ}\text{C}$, nilai kekerasannya pun lebih kecil dari pada media *quenching* oli, jadi dapat disimpulkan bahwa nilai C_p media *quenching* polimer pada penelitian ini <1.8 KJ/Kg. $^{\circ}\text{C}$.

4.6 Media *Quenching* Optimum

Dari seluruh pengujian dengan variasi media *quenching* yang telah dilakukan, diperoleh data berupa sifat mekanik, data ini diolah menjadi peringkat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Peringkat media *quenching* terhadap sifat mekanik

Peringkat	Sifat mekanik		
	<i>Impact strength</i>	Kekerasan	Ketahanan aus
1	<i>Quenching</i> polimer	<i>Quenching</i> air	<i>As cast</i>
2	<i>Quenching</i> oli	<i>Quenching</i> oli	<i>Quenching</i> air
3	<i>Quenching</i> air	<i>Quenching</i> polimer	<i>Quenching</i> oli
4	<i>As cast</i>	<i>As cast</i>	<i>Quenching</i> polimer

Dari tabel 4.12 disimpulkan bahwa media *quenching* air adalah media *quenching* yang optimum pada penelitian ini, karena peringkat sifat mekanik yang diperoleh paling tinggi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian setelah proses pengambilan dan analisa data adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh media *quenching* pada proses *interrupted quenching* adalah sebagai berikut:
 - a. Nilai *impact strength* yang didapat pada proses perlakuan panas *interrupted quenching* meningkat seiring dengan menurunnya *heat capacity* media *quenching*. Pada media *quenching* air ($C_p=4.18 \text{ KJ/Kg.}^{\circ}\text{C}$) terjadi peningkatan nilai *impact strength* sebesar 3% dari benda uji as cast, media *quenching* oli ($C_p=1.8 \text{ KJ/Kg.}^{\circ}\text{C}$) meningkat 37%, dan media *quenching* polimer ($C_p<1.8 \text{ KJ/Kg.}^{\circ}\text{C}$) meningkat 88%. Secara statistik dengan metoda ANOVA, media *quenching* berpengaruh secara signifikan terhadap nilai *impact strength* dengan nilai signifikan (*P-value*) 0.1%.
 - b. Nilai kekerasan pada permukaan benda uji yang telah dilakukan proses perlakuan panas *interrupted quenching* meningkat seiring dengan meningkatnya *heat capacity* media *quenching*. Pada media *quenching* polimer ($C_p<1.8 \text{ KJ/Kg.}^{\circ}\text{C}$) meningkat 123% dari benda uji as cast, media *quenching* oli ($C_p=1.8 \text{ KJ/Kg.}^{\circ}\text{C}$) meningkat 188%, media *quenching* air ($C_p=4.18 \text{ KJ/Kg.}^{\circ}\text{C}$) meningkat 195%. Secara statistik dengan metoda ANOVA, media *quenching* berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan pada permukaan dengan nilai signifikan (*P-value*) 0%.
 - c. Hasil pengujian keausan mesin tribometer tipe *pin on disk* pada penelitian ini perlu dilakukan evaluasi.
 - d. Jumlah *martensite* yang didapat pada proses perlakuan panas *interrupted quenching* meningkat seiring dengan meningkatnya *heat capacity* media *quenching*.

- e. Sifat mekanik yang didapatkan pada pengujian ini dapat dijadikan referensi yang valid pada produk *friction wedge* yang sebenarnya, dengan catatan bahwa perbandingan volume media *quenching* dan luas permukaannya harus sama.
2. Berdasarkan seluruh data hasil pengujian, dilakukan pemberian peringkat berdasarkan sifat mekanik yang diperoleh pada setiap media *quenching*. Media *quenching* air mendapatkan peringkat tertinggi, sehingga media *quenching* air adalah media *quenching* yang optimum pada penelitian ini.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian ini adalah:

1. Proses perlakuan panas sebaiknya dilakukan pada produk *friction wedge* sebenarnya untuk mendapatkan hasil yang lebih relevan.
2. Penelitian proses *interrupted quenching* dengan variasi media *quenching* dapat dikembangkan pada tipe baja lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aaron D. Deutschman, *Machine Design Theory and Practice* : Macmillan Publishing Co. Inc, 1975.
- [2] Kato, Koji, *Modern Tribology Handbook : Ch.7 Wear Mechanisms*, CRC Press LLC, 2001
- [3] PT. Industri Kereta Api, *Mengenal Istilah Bogie Pada Kereta Api*, < <http://www.inka.co.id/?p=2178>>, 2015.
- [4] Wibowo, Trisno, *Kereta dan Gerbong*, <URL:<http://trisnocahjogja.blogspot.com/2012/08/kereta-dan-gerbong.html>>, 2012.
- [5] ASM Handbook vol.1, *Properties and Selection : Irons, Steels, and High Performance Alloys*. ASM International, 2005.
- [6] ASM Handbook vol.4, *Heat Treating*. ASM International, 1991.
- [7] Thelning, K.E., *Steel and Its Heat Treatmment*, 2nd Ed, Butterworths, London, 1984.
- [8] S. H. Avner, *Introduction to Physical Metallurgy*, 2 ed.: McGraw Hill, 1974.
- [9] George Krauss, *Martensite in Steel: Strength and Structure*, Material Science and Engineering, A273-275, 40-57, 1999.
- [10] William D. Callister, Jr., *Material Scince and Engineering*, 7th ed. John Wiley & Sons, Inc., United States of America, 2007.
- [11] ASTM G 99-95a, *Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*. ASTM International, 2000

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1

One-way ANOVA: As Cast, Quenching Air, Quenching Oli, Quenching Polimer

Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis At least one mean is different

Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor Levels Values

Factor 4 As Cast, Quenching Air, Quenching Oli, Quenching Polimer

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	0.006705	0.002235	14.13	0.001
Error	8	0.001265	0.000158		
Total	11	0.007970			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0125764	84.12%	78.17%	64.28%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
As Cast	3	0.06767	0.00839	(0.05092, 0.08441)
Quenching Air	3	0.06900	0.00700	(0.05226, 0.08574)
Quenching Oli	3	0.09233	0.01595	(0.07559, 0.10908)
Quenching Polimer	3	0.12600	0.01609	(0.10926, 0.14274)

Pooled StDev = 0.0125764

Lampiran 2

One-way ANOVA: As Cast, Quenching Air, Quenching Oli, Quenching Polimer

Method

Null hypothesis All means are equal
 Alternative hypothesis At least one mean is different
 Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor Levels Values
 Factor 4 As Cast, Quenching Air, Quenching Oli,
 Quenching Polimer

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	349063	116354	7997.31	0.000
Error	8	116	15		
Total	11	349179			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.81434	99.97%	99.95%	99.92%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
As Cast	3	217.67	3.23	(212.59, 222.74)
Quenching Air	3	641.7	0.0	(636.6, 646.8)
Quenching Oli	3	628.57	6.91	(623.49, 633.64)
Quenching Polimer	3	485.5	0.0	(480.4, 490.6)

Pooled StDev = 3.81434

Lampiran 3

Two-way ANOVA: kekerasan versus PERLAKUAN, kedalaman

Method

Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
PERLAKUAN	Fixed	4	As Cast, Quenching Oli, Quenching Polimer, Quencing Air
kedalaman	Fixed	13	0.0, 1.0, 1.8, 2.6, 3.4, 4.2, 5.0, 5.8, 6.6, 7.4, 8.2, 9.0, 10.0

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
PERLAKUAN	3	1274961	424987	1572.28	0.000
kedalaman	12	9181	765	2.83	0.008
Error	36	9731	270		
Total	51	1293873			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
16.4408	99.25%	98.93%	98.43%

Lampiran 4

One-way ANOVA: As cast, Quenching Air, Quenching Oli, Quenching Polimer

Method

Null hypothesis All means are equal
 Alternative hypothesis At least one mean is different
 Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	4	As cast, Quenching Air, Quenching Oli, Quenching Polimer

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	169.8	56.59	0.50	0.695
Error	8	911.5	113.94		
Total	11	1081.3			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
10.6744	15.70%	0.00%	0.00%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
As cast	3	17.31	13.51	(3.10, 31.53)
Quenching Air	3	21.64	8.66	(7.43, 35.85)
Quenching Oli	3	25.97	12.99	(11.76, 40.18)
Quenching Polimer	3	26.69	5.45	(12.48, 40.90)

Pooled StDev = 10.6744

Lampiran 5

Tabel konversi nilai kekerasan [7]

Hardness					Tensile strength					Hardness					Tensile strength					Hardness				
HV	HRB	HB			kp/mm ²	N/mm ²				HV	HRC	HB			kp/mm ²	N/mm ²				HV	HRC	HR	30N	
	HRC																							
100	57.0	95	33	325						400	40.8	380.0	130	1275						700	60.1	77.6		
110	62.0	105	36	355						410	41.8	389.5	134	1315						710	60.5	78.0		
120	67.0	114	39	380						420	42.7	399.0	137	1345						720	61.0	78.4		
130	71.0	124	43	420						430	43.6	408.5	141	1385						730	61.4	78.7		
140	75.1	133	46	450						440	44.5	418.0	144	1410						740	61.8	79.1		
150	78.8	143	49	480						450	45.3	423	147	1440						750	62.1	79.4		
160	82.1	152	52	510						460	46.1	432	150	1470						760	62.5	79.7		
170	85.0	162	55	540						470	46.9	442	153	1500						770	62.9	80.0		
180	87.3	171	58	570						480	47.7	450	156	1530						780	63.3	80.4		
190	89.6	181	62	600						490	48.4	456	160	1570						790	63.6	80.7		
200	91.8	190	65	635						500	49.1	466	164	1610						800	64.0	81.1		
210	93.7	200	68	670						510	49.8	475	168	1640						810	64.3	81.4		
220	95.5	209	71	695						520	50.5	483	172	1680						820	64.7	81.7		
230	97.0	219	74	725						530	51.1	492	176	1725						830	65.0	81.9		
240	HRC	228	77	755						540	51.7	500	180	1765						840	65.3	82.2		
250	22.2	238	80	785						550	52.3	509	184	1805						850	65.6	82.5		
260	24.0	247	84	825						560	53.0	517	188	1845						860	65.9	82.7		
270	25.6	257	87	855						570	53.6	526	193	1890						870	66.1	82.9		
280	27.1	266	90	880						580	54.1	535	198	1940						880	66.4	83.1		
290	28.5	276	94	920						590	54.7	543	203	1990						890	66.7	83.3		
300	29.8	285	97	950						600	55.2	552								900	67.0	83.6		
310	31.0	295	101	990						610	55.7	560								910	67.2	83.8		
320	32.2	304	104	1020						620	56.3	569								920	67.5	84.0		
330	33.3	314	107	1050						630	56.8	577								930	67.8	84.2		
340	34.4	323	110	1080						640	57.3	586								940	68.0	84.4		
350	35.5	333	114	1115						650	57.8									950	68.4	84.6		
360	36.6	342	117	1150						660	58.3									960	68.7	84.8		
370	37.7	352	120	1175						670	58.8									970	69.0	85.0		
380	38.8	361	123	1205						680	59.2									980	69.3	85.2		
390	39.8	370	127	1245						690	59.7									1000	69.9	85.6		

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Pasuruan, pada tanggal 3 nopember 1992. Penulis merupakan anak Pertama dari tiga bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuhnya yaitu tahun 1998-2004 bersekolah di SDN Kebonagung 5 Pasuruan, Kemudian tahun 2004-2007 melanjutkan ke SMPN 2 Pasuruan, dan tahun 2007-2010 melanjutkan ke SMAN I Pasuruan. Pada tahun 2013, penulis melanjutkan studinya di Perguruan Tinggi Negeri di Surabaya, dengan mengambil Program Studi D3 Teknik Mesin Produksi FTI-ITS dan mengambil bidang studi Manufaktur. Pada 2013 penulis melanjutkan studi S1 jurusan Teknik Mesin ITS melalui program lintas jalur dan mengambil bidang studi metalurgi. Penulis juga aktif dalam berbagai organisasi di Perkuliahan, yaitu Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Resimen Mahasiswa dengan jabatan yang pernah di jalani adalah sebagai komandan kepengu, selain itu juga ada FORKOM M3NER ITS yang juga di jalani sebagai ketua.